

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

Marek Kotas

Analýza spolehlivosti distribuční sítě vn

Reliability analysis of MV distribution network

2020

Marek Kotas

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Kotas**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Analýza spolehlivosti distribuční sítě vn**
Reliability analysis of MV distribution network
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- o Typy rozvodných sítí.
- o Spolehlivost v elektroenergetice.
- o Poruchovost v sítích vn za rok 2018.
- o Implementace dálkově ovládaných prvků do kabelové sítě vn.
- o Dopad na parametry SAIDI a SAIFI.
- o Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


- o Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení, VŠB - TU Ostrava, ISBN 987-80-7225-291-6
- o Tůma, J., Rusek, S., Martínek, Z., Chmišinec, I., Goňo, R.: Spolehlivost v elektroenergetice. ČVUT Praha, 2006, ISBN 80-239-6483-6
- o Vyhláška č. 540/2005 Sb o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice
- o Pravidla provozování distribučních soustav, příloha č. 2
- o Další podle pokynů vedoucího práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě 10.05.2020



Marek Kotas

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Radomíru Goňovi, Ph.D. a Ing. Zdeňku Burdkovi Ph.D. za odborné rady a pomoc se zpracováním této diplomové práce.

Abstrakt

Diplomová práce popisuje jednotlivé prvky distribuční sítě nízkého a vysokého napětí. Jsou zde popsány základní ukazatele nepřetržitosti dodávky elektrické energie a analyzovány poruchy na vysokém napětí za rok 2018. Cílem diplomové práce je přiblížit nespornou výhodu dálkově ovládaných prvků v kabelové síti při vymezení poruchy vn, minimalizaci četnosti a času omezení distribuce elektrické energie.

Klíčová slova

venkovní vedení, kabelové vedení, spolehlivost, porucha, SAIDI, SAIFI, dálkově ovládaný prvek

Abstract

This dissertation describes individual elements of High and Low Voltage distribution network. Basic indicators of power supply continuity are described here as well as analysed High Voltage outages in 2018. The objective is to clarify the undoubted advantage of remote controlled elements inside cable network when determining failures of High Voltage distribution and to minimize power distribution limitations.

Key Words

overhead lines, cable lines, reliability, failure, SAIDI, SAIFI, remote control element

➤ Obsah

Seznam použitých zkratk	8
Seznam ilustrací	9
Seznam tabulek	10
Seznam grafů	10
ÚVOD	11
1 Typy rozvodných sítí	12
1.1 Venkovní síť nn 400/230 V	12
1.2 Kabelová síť nn 400/230 V	15
1.3 Venkovní síť vn 22 kV	17
1.4 Kabelová síť vn 22 kV	19
2 Spolehlivost v elektroenergetice	20
2.1 Základní pojmy a definice	20
2.2 Vlastnosti spolehlivosti a hlavní ukazatele	20
2.3 Ukazatele nepřetržitosti dodávky elektrické energie	24
3 Poruchovost v sítích vn za rok 2018	28
3.1 Poruchy venkovního vedení vn	28
3.2 Rozdělení krátkodobých a dlouhodobých poruch	29
3.3 Poruchy kabelového vedení vn	31
3.4 Rozdělení krátkodobých a dlouhodobých poruch	32
4 Implementace dálkově ovládaných prvků do kabelové sítě vn	34
4.1 Manuální ovládání prvků kabelové sítě vn a porucha případ první	34
4.2 Dálkové ovládání prvků kabelové sítě vn a porucha případ první	36
4.3 Manuální ovládání prvků kabelové sítě vn a porucha případ druhý	38
4.4 Dálkové ovládání prvků kabelové sítě vn a porucha případ druhý	40
4.5 Manuální ovládání prvků kabelové sítě vn a porucha případ třetí	42
4.6 Dálkové ovládání prvků kabelové sítě vn a porucha případ třetí	44
4.7 Shrnutí variant	46
5 Dopad na parametry SAIDI a SAIFI	47
5.1 SAIDI a SAIFI pro manuální ovládání prvků při první poruše	47
5.2 SAIDI a SAIFI pro dálkové ovládání prvků při první poruše	48
5.3 SAIDI a SAIFI pro manuální ovládání prvků při druhé poruše	50
5.4 SAIDI a SAIFI pro dálkové ovládání prvků při druhé poruše	51
5.5 SAIDI a SAIFI pro manuální ovládání prvků při třetí poruše	52
5.6 SAIDI a SAIFI pro dálkové ovládání prvků při třetí poruše	53
5.7 Vyhodnocení vlivu osazením DO_DTS	54
Závěr	56
Seznam použité literatury	58

Seznam použitých zkratek

CAIDI	Customer average interruption duration index
CAIDI _h	Průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napět'ové hladině h v hodnoceném období (hladinový ukazatel)
CAIDI _s	Průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období (systémový ukazatel)
DO DTS	Dálkově ovládaná distribuční trafostanice
DS	Distribuční soustava
DTS	Distribuční trafostanice
HR	Hlavní rozvaděč
MAIFI	Momentary average interruption frequency index – průměrná četnost krátkodobého přerušení dodávky elektrické energie
nn	Nízké napětí 0,4 kV
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
SAIDI	Systém average interruption duration index – průměrná doba trvání přerušení dodávky elektrické energie
SAIDI _h	Průměrná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napět'ové hladině h v hodnoceném období (hladinový ukazatel)
SAIDI _s	Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období (systémový ukazatel)
SAIFI	Systém average interruption frequency index – průměrná četnost přerušení dodávky elektrické energie
SAIFI _h	Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napět'ové hladině h v hodnoceném období (hladinový ukazatel)
SAIFI _s	Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období (systémový ukazatel)
vn	Vysoké napětí 22 kV

Seznam ilustrací

Obrázek 1.1 Elektrizační soustava [9].....	12
Obrázek 1.2 Čtyřvodičový systém AES [6].	13
Obrázek 1.3 Kotevní prvky [8].....	13
Obrázek 1.4 Propichovací svorka [8].	13
Obrázek 1.5 Lano AlFe. [7].....	14
Obrázek 1.6 Kladkový izolátor.....	14
Obrázek 1.7 Schéma paprskové sítě.	15
Obrázek 1.8 Schéma okružní sítě.	15
Obrázek 1.9 Schéma zjednodušené mřížové sítě.	16
Obrázek 1.10 Schéma mřížové sítě.	16
Obrázek 1.11 Kabel AYKY 3x240+120 [6].....	17
Obrázek 1.12 Izolovaný vodič PAS [6].....	17
Obrázek 1.13 Izolovaný závěsný kabel AXEKVCEZ [6].....	18
Obrázek 1.14 Vodič AlFe [6].	18
Obrázek 1.15 Uspořádání vodičů a) rovinné, b) do trojúhelníku, c)“pařát“, d) jednoduché vedení.	18
Obrázek 1.16 Kabel AXEKCEY 1) jádro, 2) dolní polovodivá vrstva, 3)izolace, 4) horní polovodivá vrstva, 5)vodu blokující páska, 6) žíhané měděné dráty, 7)plášť, 8) ochranný plášť [7].....	19
Obrázek 1.17 Kabelové vedení vn [4].....	19
Obrázek 2.1 Vanová křivka [1].	22
Obrázek 2.2 Vanová křivka [1].	23
Obrázek 2.3 Závislost mezi náklady a kvalitou [1].....	23
Obrázek 4.1 Kabelové vedení bez dálkově ovládaných prvků porucha první [4].....	35
Obrázek 4.2 Kabelové vedení s dálkově ovládanými prvky první porucha [4]	37
Obrázek 4.3 Kabelové vedení bez dálkově ovládaných prvků porucha druhá [4]	39
Obrázek 4.4 Kabelové vedení s dálkově ovládanými prvky porucha druhá [4].....	41
Obrázek 4.5 Kabelové vedení bez dálkově ovládaných prvků porucha třetí [4].....	43
Obrázek 4.6 Kabelové vedení s dálkově ovládanými prvky porucha třetí [4]	45
Obrázek 5.1 Grafický průběh přerušení při první poruše-manuální ovl.....	47
Obrázek 5.2 Grafický průběh přerušení při první poruše-dálkové ovl.	48
Obrázek 5.3 Grafický průběh přerušení při druhé poruše-manuální ovl.	50
Obrázek 5.4 Grafický průběh přerušení při druhé poruše-dálkové ovl.	51
Obrázek 5.5 Grafický průběh přerušení při třetí poruše-manuální ovl.....	52
Obrázek 5.6 Grafický průběh přerušení při třetí poruše-dálkové ovl.	53
Obrázek 5.7 SAIDI a SAIFI pro jednotlivé poruchy.....	55

Seznam tabulek

Tabulka 2.1 Vztahy mezi veličinami [1].	22
---	----

Seznam grafů

Graf 3. 1 Poruchy venkovního vedení vn za rok 2018	29
Graf 3. 2 Celkový počet a rozdělení pouze krátkodobých poruch	29
Graf 3. 3 Celkový počet a rozdělení pouze dlouhodobých událostí	30
Graf 3. 4 Poruchy kabelového vedení vn za rok 2018.....	31
Graf 3. 5 Celkový počet a rozdělení pouze krátkodobých poruch	32
Graf 3. 6 Celkový počet a rozdělení pouze dlouhodobých poruch.....	33

ÚVOD

Zajištění spolehlivosti a kvality distribuční sítě je v dnešní době na prvním místě každého distributora elektrické energie. Jelikož nelze zajistit stoprocentní bezporuchový chod sítě a s rostoucími požadavky odběratelů na nepřetržitost dodávky elektrické energie je tedy vhodné provést taková opatření, která v možné míře zajistí kratší dobu omezení a také sníží četnost výpadků při lokalizaci poruchových míst v distribuční síti.

V první kapitole diplomové práce jsou popsány jednotlivé typy distribučních sítí podle napětových hladin, způsobu jejich provozování a nejčastěji používané materiály.

Druhá kapitola se zabývá ukazateli nepřetržitosti dodávky, jejich vlastnostmi, výpočty a stanovením. Tyto ukazatele jsou dnes výrazně limitovány energetickým regulačním úřadem a pro každého distributora by měly být důležitým faktorem.

Následně jsou vyhodnoceny poruchy na vysokém napětí a to jak na venkovním tak kabelovém vedení z určité oblasti distribuční sítě za rok 2018. Taktéž jsou poruchy rozděleny do patřičných kategorií a příčin. Venkovní a kabelové události jsou graficky znázorněny a vzájemně porovnané.

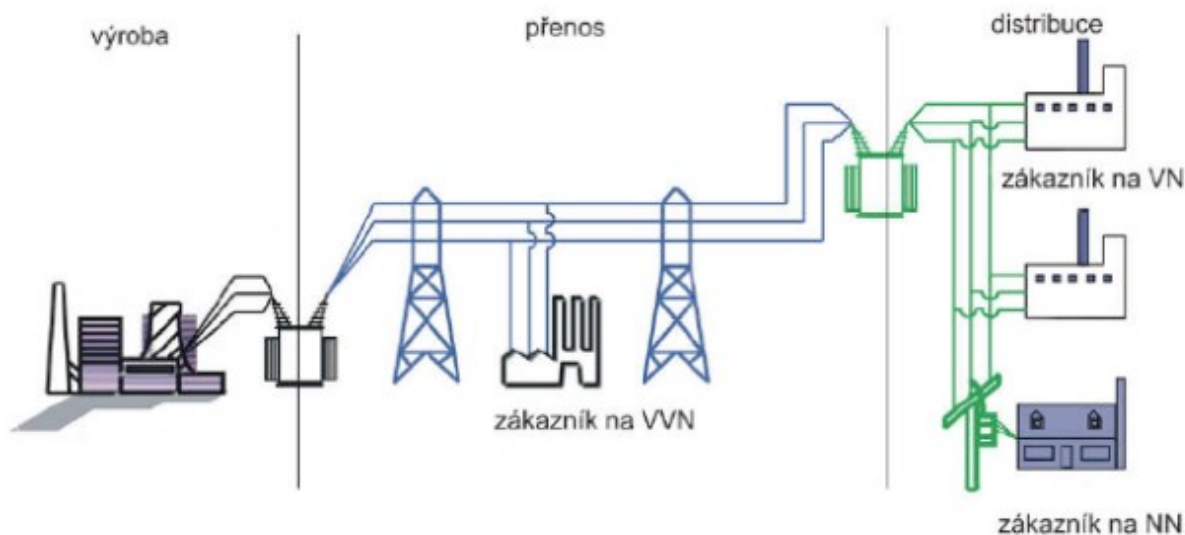
Kapitola čtvrtá je zaměřená pouze na kabelové vedení vysokého napětí a tři modelové příklady lokalizace a vymezení poruchy vn. To jak s manuálním ovládáním prvků tak také s implementací dálkově ovládaných pro vymezení poruchového místa a následné porovnání obou variant.

V poslední páté kapitole jsou graficky znázorněny časové průběhy lokalizace poruchy s počty omezených zákazníků nn, vn a vypočítány ukazatele nepřetržitosti dodávky pro jednotlivé případy poruchových stavů v kabelové síti a jejich vyhodnocení.

Cílem diplomové práce je poukázat na možnost zlepšení kvality a spolehlivosti v oblasti nepřetržitosti dodávek elektřiny s přičiněním dálkově ovládaných prvků v kabelové síti vysokého napětí při lokalizaci a vymezení poruchových stavů.

1 Typy rozvodných sítí

Elektrizační soustava slouží pro přenos elektrické energie od výrobce až ke konečnému spotřebiteli. Pro distribuci elektrické energie slouží distribuční soustava, která zahrnuje širokou oblast dodávky elektrické energie. Elektrizační soustavu chápeme jako vzájemně propojený soubor zařízení pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektrické energie obrázek 1.1.



Obrázek 1.1 Elektrizační soustava [9].

1.1 Venkovní síť nn 400/230 V

U této sítě venkovního vedení se nejčastěji používá vedení provedené holými vodiči AlFe, které se však postupně nahrazují, ať už z důvodů rekonstrukce, nebo vybudování nové sítě izolovanými vodiči typu AES.

Tyto venkovní sítě dělíme na:

- Izolované
 - Holé
-
- Izolovaná venkovní vedení nn

V České republice se izolovaná venkovní vedení nn nejčastěji realizují systémem typu AES viz obrázek 1.2. Jádrem daného typu je kruhového profilu a je slaněno z hliníkových drátů. Průřezy těchto vodičů se pohybují od 16 až 120 mm². Jejich izolace je odolná proti UV záření a barva všech žil je černá. Liší se pouze výliskem na povrchu vodiče po celé jeho délce. Fázové vodiče jsou označeny jedním, dvěma, nebo třemi proužky po celé délce vodiče pro jasnou identifikaci. Nulový vodič je čistě hladký, avšak s potiskem metráže a značky zemnění.



Obrázek 1.2 Čtyřvodičový systém AES [6].

Pro montáž venkovních izolovaných vedení nn jsou dány nejmenší dovolené vzdálenosti mezi vodiči, země a od konstrukce. Vodiče se upevňují přímo na nosnou konstrukci, tak aby nedošlo k poškození jejich izolace, přičemž za součást vedení se považují sloupy, stožáry, střešníky a podobně. Vodiče AES mají své vlastní navržené uchycovací a montážní prvky, jak vidíme na obrázku 1.3 a 1.4, které jsou dodávány výrobcem [2].



Obrázek 1.3 Kotevní prvky [8].



Obrázek 1.4 Propichovací svorka [8].

Výhody izolovaných vodičů AES:

- Nízká hmotnost.
- Větší přenosová schopnost.
- Snížení namáhání podpěrných bodů.
- Snadná a rychlá montáž.
- Snížení ochranných pásem od objektů.

Druhy provedení vodičů AES:

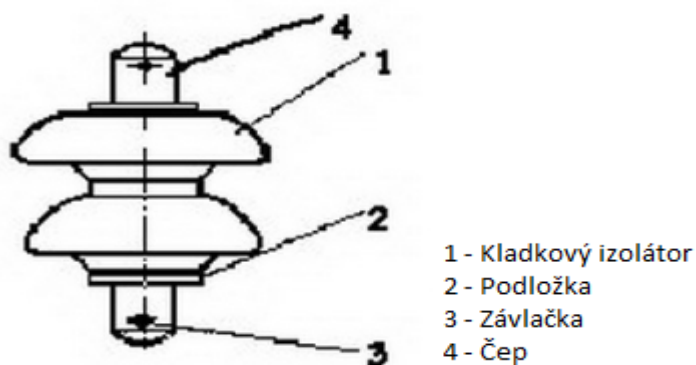
- Dvoužilový systém.
- Čtyřžilový systém.
- Čtyřžilový s přidavnou žilou.

- Holá venkovní vedení nn

Na obrázku 1.5 je znázorněn typ vodičů, pomocí kombinovaných lan AlFe, kde je nosná část tvořena ocelovým jádrem, kolem kterého je spirálovitě omotán hliníkový obal tvořen z jednotlivých hliníkových vodičů různého průměru. Vodiče jsou připevněny na porcelánových izolátorech obrázek 1.6 umístěných na podpěrných bodech. Tento typ vedení se však dnes nahrazuje výše zmíněným typem AES [2].



Obrázek 1.5 Lano AlFe. [7].



Obrázek 1.6 Kladkový izolátor.

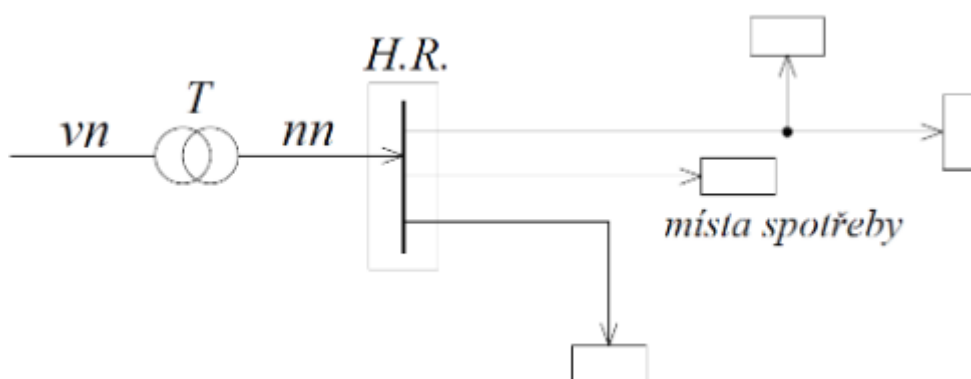
1.2 Kabelová síť nn 400/230 V

Kabelová síť neboli podzemní vedení, jak už z názvu vyplývá, je uložena pod zemí, proto se hojně využívá v hustě zastavěných oblastech, městech, nebo tam kde není možno stavět stožáry a jiné podpěrné body. Nejčastěji realizujeme toto vedení jako okružní, které je uskutečněno smyčkováním v kabelových skříních k tomu určených.

Tuto síť můžeme také provozovat v zapojení tak zvaném mřížovém, kdy máme tímto způsobem navzájem spojené víc než dvě transformační stanice. Toto se provádí zejména ve městech s velkou hustotou zástavby. Pokud to však lze, je tato síť rozpojena v rozpojovacích skříních a provozuje se jako paprsková. Tento paprskový typ zapojení, co se týče nalezení poruchového místa, je optimální [2].

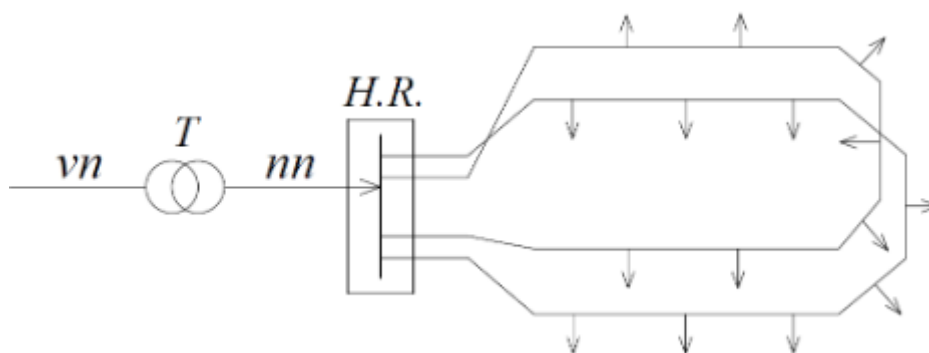
- Možnosti zapojení kabelové sítě nn

Paprsková síť: Její použití je především v menších obcích a okrajových oblastech. Její výhodou je snadná obsluha, hospodárnost z hlediska výstavby a vysoká přehlednost vedení.



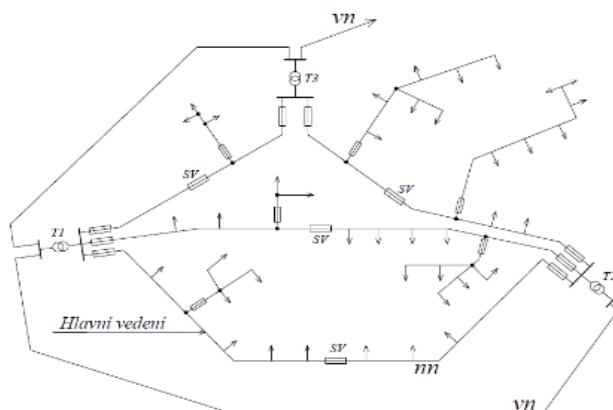
Obrázek 1.7 Schéma paprskové sítě.

Okružní síť: Používá se především ve větších obcích, nebo menších městech. Její výhodou je možnost provedení v menším průřezu a to z důvodu možnosti napájení ze dvou stran, nebo síť provozovat jako paprskovou.



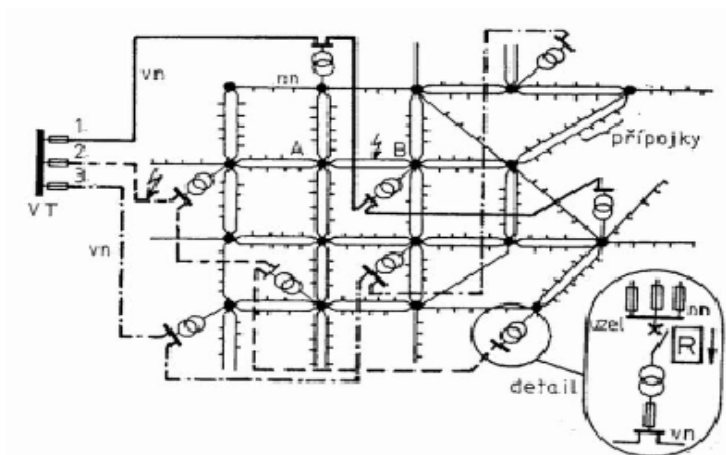
Obrázek 1.8 Schéma okružní sítě.

Zjednodušená mřížová síť: Podmínkou pro splnění této sítě je, aby alespoň dva transformátory dodávaly do stejné sítě. U tohoto typu sítě je velká jistota dodávky elektrické energie, dochází zde k zlepšení napěťového úbytku a lepšímu využití transformátorů.



Obrázek 1.9 Schéma zjednodušené mřížové sítě.

Uzlová a mřížová síť: Tento typ vedení se realizuje v hustě osídlené oblasti a městech. Vedení je spojeno do tzv. uzlů, které jsou umístěny na vhodných místech v trase vedení. Nespornou výhodou je zde minimální kolísání napětí oproti předchozím typům a možnost jednoduchého navýšení počtu stanic, přidáním do vhodných uzlů a navýšení odběrných míst [2].



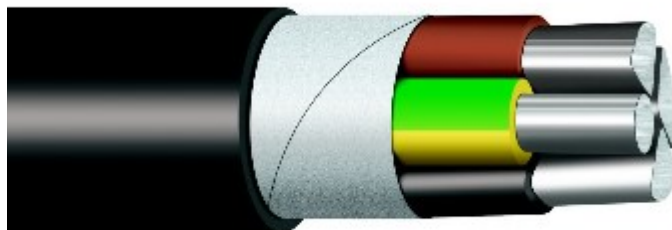
Obrázek 1.10 Schéma mřížové sítě.

- Nejčastější typy používaných kabelů nn

Hlavní vedení nejčastěji provádíme z kabelů AYKY 3x240+120, AYKY 3x120+70.

Pro odbočky z hlavního vedení používáme AYKY 3x120+70, AYKY 4x70.

Pro přípojky AYKY 4x25 nebo 4x16.



Obrázek 1.11 Kabel AYKY 3x240+120 [6].

1.3 Venkovní síť vn 22 kV

Venkovní vedení vn je provozováno s izolovaným uzlem transformátoru, nebo jako kompenzované. Skládá se z podpěrných bodů, izolátorů a samotných vodičů. Venkovní vedení je samozřejmě poruchovější než kabelové, jelikož je náchylnější na atmosférické podmínky.

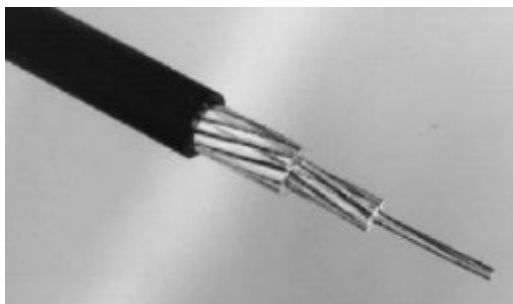
Tyto venkovní sítě dělíme:

Izolovaná

Holá

- Izolované venkovní vedení vn 22 kV

Toto vedení se provádí nejčastěji z izolovaných vodičů typu PAS, jak ukazuje obrázek 1.12, avšak jejich izolace netvoří ochranu proti nebezpečnému dotyku živých částí, ale pouze umožňuje zúžení ochranného pásma. Tyto vodiče jsou komprimovaná lana, slaná z drátů z hliníkové slitiny, opatřenou jednoduchou izolací. Dalším typem izolovaných vodičů je AXEKVCEZ viz obrázek 1.13. Tento typ kabelů je slaný a závěsný pomocí pozinkovaného ocelového lana. Tyto kabely nevyžadují další izolaci, jelikož jsou plně izolované a stíněné. Jelikož je jejich pořizovací cena nákladná, používají se tam, kde není možné z technických, ekologických, prostorových důvodů provést klasickou venkovní přípojku k trafostanici a řešení zemním kabelem je technicky nevhodné. Velkou výhodou je možnost použití společných podpěrných bodů s izolovaným vedením nn [2].



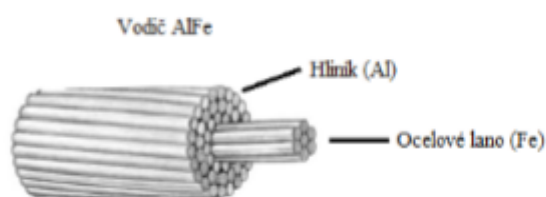
Obrázek 1.12 Izolovaný vodič PAS [6].



Obrázek 1.13 Izolovaný závěsný kabel AXEKVCEZ [6].

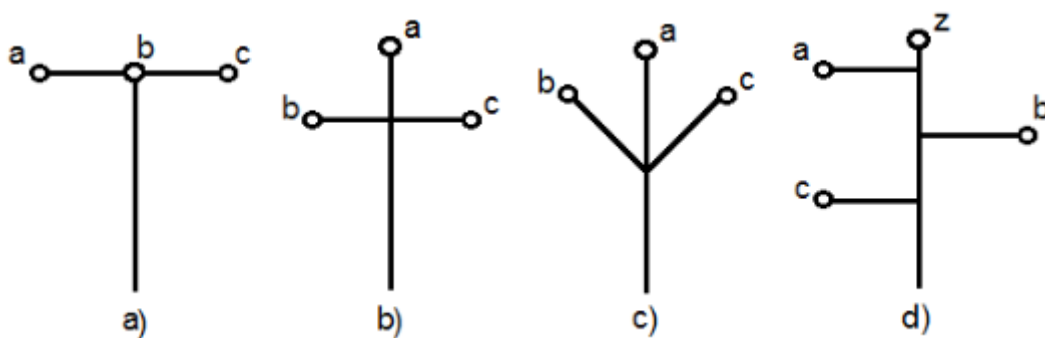
- Holá venkovní vedení vn 22 kV

Holé vodiče jsou základním typem venkovních sítí vn. Používají se lana AlFe – hliníkové slané s nosnou ocelovou duží těchto typů: AlFe 42/7, AlFe 70/11, AlFe 110/22 [2].



Obrázek 1.14 Vodič AlFe [6].

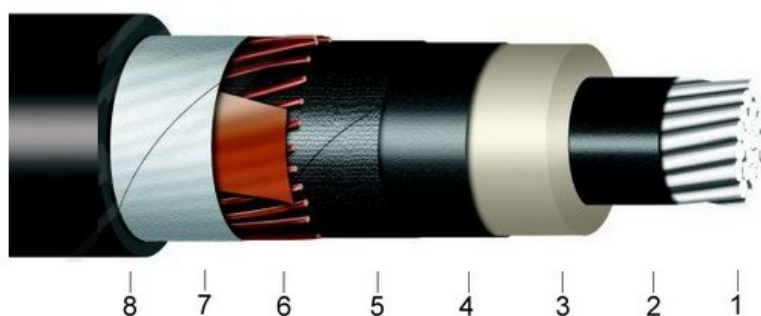
Možnosti uspořádání venkovního vedení vn.



Obrázek 1.15 Uspořádání vodičů a) rovinné, b) do trojúhelníku, c) "pařát", d) jednoduché vedení.

1.4 Kabelová síť vn 22 kV

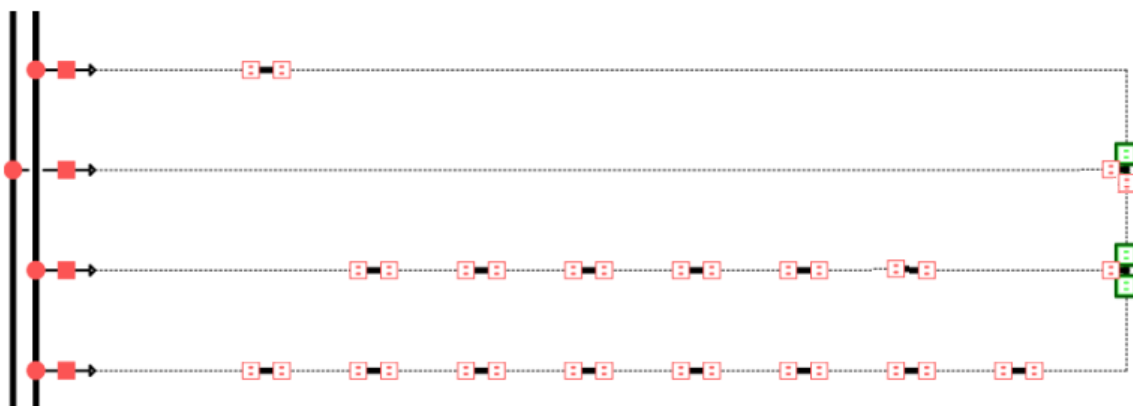
Kabelové vedení je s porovnáním venkovního méně poruchové, ale z důvodu malých vzdáleností mezi fázemi dochází při poruše a působením oblouku k devastaci izolace a snadno, tak přechází k třífázovému zkratu. Nalezení poruchového místa u kabelového vedení není tak snadné jako u venkovního. Možnosti zapojení kabelové sítě vn je totožné jako zapojení kabelové sítě nn. Kabelová síť se používá zejména v hustě obydlených oblastech a městech. Tato varianta je ovšem dražší oproti venkovnímu vedení a také údržba je složitější. Nejčastějším používaným kabelem je AXEKVCEY [2].



Obrázek 1.16 Kabel AXEKVCEY 1) jádro, 2) dolní polovodiivá vrstva, 3) izolace, 4) horní polovodiivá vrstva, 5) vodu blokujiící páska, 6) žíhané měděné dráty, 7) plášť, 8) ochranný plášť [7].

- Schéma kabelového vedení v praxi

Kabelové vedení začíná v rozvodně a pokračuje smyčkovitě mezi jednotlivými trafostanicemi. Každé vedení je specifické a může obsahovat různý počet trafostanic zapojených jak sériově, tak paralelně a vedení může začínat a končit v jedné rozvodně, nebo naopak začíná v jedné a končí v druhé rozvodně. Takto zapojené vedení má vyšší spolehlivost a kvalitu dodávky elektrické energie z důvodu možného napájení z více stran.



Obrázek 1.17 Kabelové vedení vn [4]

2 Spolehlivost v elektroenergetice

Spolehlivost je hlavním cílem při návrhu a provozu elektrizační soustavy. Definuje se jako obecná vlastnost objektu spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených ukazatelů v daných mezích a v čase. Obecně je spolehlivost v elektroenergetice chápána jako schopnost soustavy zajistit a vykonávat nepřetržitou a kvalitní dodávku elektrické energie všem odběratelům. Jde tedy o spolehlivost celého procesu od výroby elektrické energie, přes přenos až po samotnou distribuci elektřiny koncovým zákazníkům [1].

2.1 Základní pojmy a definice

- **Spolehlivost** - schopnost objektu plnit požadovanou funkci za daných podmínek v daném časovém intervalu.
- **Bezporuchovost** - schopnost objektu plnit nepřetržitě požadovanou funkci za stanovených podmínek v daném časovém období.
- **Provozeroschopný stav** - stav objektu, ve kterém objekt plní nebo je schopen plnit svou požadovanou funkci.
- **Porucha** - ukončení objektu plnit požadovanou funkci. Porucha je nepředvídaná událost nebo závada zařízení, která může způsobit jednu nebo více poruch na daném zařízení. Podle povahy se dělí poruchy na náhodilé a postupné. Dále rozlišujeme poruchy úplné a částečné.
- **Oprava** - část prací po poruše k uvedení zařízení do provozuschopného stavu.
- **Obnova** - stav kdy je objekt uveden do provozuschopného stavu.
- **Životnost** - schopnost objektu plnit požadovanou funkci do dosažení mezního stavu při stanovené pravidelné údržbě.
- **Údržba** - činnost vykonávaná na zařízení k udržení provozuschopného stavu po stanovenou dobu a za stanovených podmínek.
- **Doba údržby** – časový interval, po který se na zařízení provádí nezbytné opravářské úkony.
- **Udržovatelnost** - vlastnost objektu spočívající ve způsobu předcházet poruchovému stavu vlivem údržby.
- **Opravitelnost** - vlastnost objektu k obtížnosti nalezení a odstranění poruchového stavu a uvedení do provozuschopnosti
- **Bezpečnost** - vlastnost objektu neohrožovat zdraví lidí a životního prostředí při plnění funkce po danou dobu za stanovených podmínek [1].

2.2 Vlastnosti spolehlivosti a hlavní ukazatele

Základním ukazatelem spolehlivosti objektu je jeho bezporuchový provoz tedy nízká poruchovost, pravděpodobnost poruchy, hustota pravděpodobnosti, intenzita, střední doba poruchy a střední doba mezi poruchami. Do spolehlivosti uvažujeme pouze náhodné poruchy, které vznikají bez zjevných příčin a jsou tedy náhodné. Dále dělíme poruchy na závislé a nezávislé. Závislá porucha vzniká následkem poruchy na jiném prvku a nezávislá nikoliv.

Hlavní ukazatele

- **Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$** - objektu v časovém intervalu od 0 do t je pravděpodobnost, že v tomto časovém intervalu porucha objektu nenastane.

$$R(t) = P(\xi > t) \quad (1)$$

Kde ξ je náhodná veličina která určuje dobu do vzniku poruchy.

- **Pravděpodobnost poruchy objektu $Q(t)$** - pravděpodobnost, že v daném časovém období nastane porucha.

$$Q(t) = P(\xi \leq t) = 1 - R(t) \quad (2)$$

$R(t)$ je nerostoucí funkce času, $Q(t)$ je neklesající funkce času. Obě veličiny jsou kladná bezrozměrná čísla nejvýše rovná jedné. Zpravidla se předpokládá, že $R(0)=1$, $R(\infty)=0$.

- **Hustota pravděpodobnosti poruchy $f(t)$** - je dána vztahem.

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (3)$$

- **Intenzita poruch $\lambda(t)$** - je definována jako poměr hustoty pravděpodobnosti poruchy a pravděpodobnosti bezporuchového provozu.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (4)$$

Veličiny $\lambda(t)$ a $f(t)$ mají rozměr (čas⁻¹), obvykle se udávají v jednotkách (h⁻¹) nebo (rok⁻¹).

- **Střední intenzita poruch $\bar{\lambda}(t_1, t_2)$** – je střední hodnota okamžité intenzity poruch v daném časovém intervalu (t_1, t_2) .

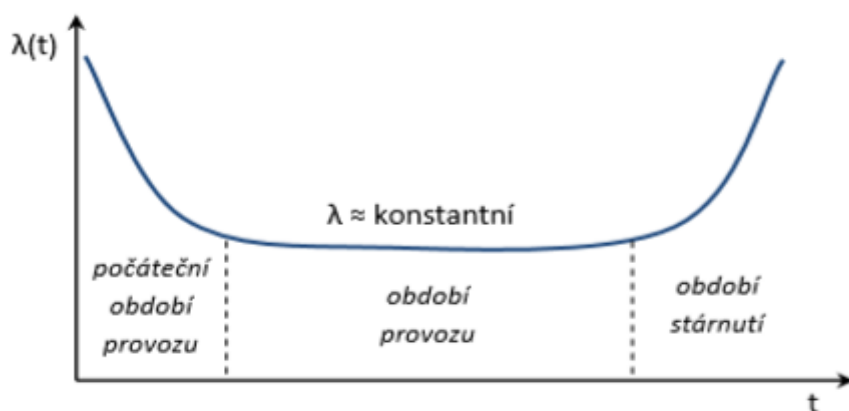
$$\bar{\lambda}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt \quad (5)$$

Vztahy mezi jednotlivými veličinami ukazuje následující tabulka 2.1.

Veličina	$R(t)$	$Q(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
$R(t)$	-	$1 - Q(t)$	$1 - \int_0^t f(t) dt$	$\exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right]$
$Q(t)$	$1 - R(t)$	-	$\int_0^t f(t) dt$	$1 - \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right]$
$f(t)$	$-\frac{dR(t)}{dt}$	$\frac{dQ(t)}{dt}$	-	$\lambda(t) \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right]$
$\lambda(t)$	$-\frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)}$	$\frac{\frac{dQ(t)}{dt}}{1 - Q(t)}$	$\frac{f(t)}{1 - \int_0^t f(t) dt}$	-

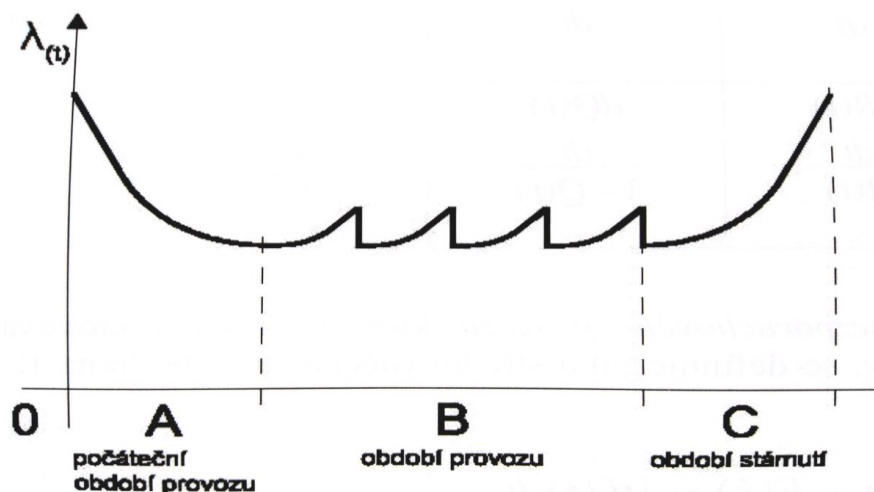
Tabulka 2.1 Vztahy mezi veličinami [1].

Časový průběh poruch $\lambda(t)$ můžeme graficky znázornit na tzv. *vanové křivce*. Vanová křivka se dělí na tři úseky. A, B, C kde první úsek znázorňuje pokles poruch na začátku provozu zařízení což je spjato s počátečními chybami při návrhu zařízení, nebo při jeho počátečním provozu. Toto období se nazývá období časných poruch nebo období počátečního provozu zařízení. V druhém úseku je intenzita poruch téměř totožná s osou času. Období se nazývá období normálního využívání a poruchy jsou náhodné a bez jednoznačných příčin. V posledním úseku křivka intenzity poruch stoupá což, je zapříčiněno stárnutím a dožíváním výrobku tedy období stárnutí.



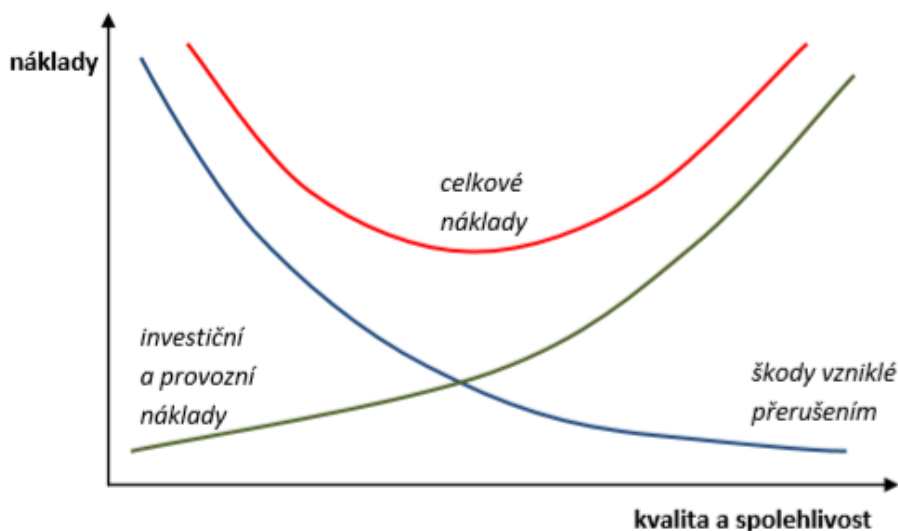
Obrázek 2.1 Vanová křivka [1].

V praxi to však může vypadat spíše jako na následujícím obrázku 2.2, kdy v prvním úseku klesá hodnota $\lambda(t)$ což je způsobeno počátečními problémy s provozem a postupným zlepšováním. V druhém období provozu vlivem stárnutí prvků a vlivy na ně působící dochází k zvětšování $\lambda(t)$. Avšak pravidelnou údržbou a opravami dochází ke zlepšení stavu prvku a snížení intenzity poruch. Třetí období je způsobeno opět stárnutím a dožíváním prvků [3].



Obrázek 2.2 Vanová křivka [1].

Obecně můžeme říci, že s klesající spolehlivostí a kvalitou dodávky elektrické energie rostou škody jednotlivých spotřebitelů a pro zajištění vyšší kvality je zapotřebí velkých nákladů ze strany distributora elektrické energie. Tyto náklady však přináší navýšení ceny elektrické energie, kterou v konečném důsledku zaplatí spotřebitelé. Náklady můžeme rozdělit na investiční a provozní. Optimální úroveň spolehlivosti je dána minimálními náklady. Obrázek 2.3 znázorňuje závislost nákladů distributora elektrické energie a nákladů vzniklých výpadkem elektrické energie u odběratelů.



Obrázek 2.3 Závislost mezi náklady a kvalitou [1].

2.3 Ukazatele nepřetržitosti dodávky elektrické energie

V této kapitole budeme věnovat pozornost ukazatelům nepřetržitosti dodávky elektrické energie. Obecně můžeme rozdělit ukazatele na tři základní skupiny. První z ukazatelů se zaměřuje na zákazníky postižené dlouhodobým výpadkem elektrické energie nad tři minuty, a tedy SAIDI a SAIFI. Druhou skupinou jsou ukazatele sledující odpojený odběr, který nastal během přerušení dodávky elektrické energie. Třetí skupina vyhodnocuje krátkodobá přerušení a do budoucna jim bude přikládán nemalý význam.

Začátkem přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny pro výpočet ukazatelů je okamžik, kdy se provozovatel přenosové soustavy nebo provozovatel distribuční soustavy dozvěděl o vzniku přerušení nebo kdy vznik přerušení zjistil nebo spolehlivě mohl zjistit [3].

- Následující ukazatele jsou využívány při dlouhodobém přerušení elektrické energie. Ukazatel SAIFI uvádí, jak často je zákazník omezen přerušením během stanoveného časového období.

$$SAIFI = \frac{\sum N_i}{N_T} = \frac{\sum \text{celkový počet zákazníků postižených přerušením}}{\text{celkový počet připojených zákazníků}} \quad (6)$$

kde N_i je počet zákazníků postižených dlouhodobým přerušením způsobeným danou událostí

N_T je celkový počet připojených zákazníků v dané oblasti

- Ukazatel SAIDI udává celkovou dobu trvání přerušení zákazníka za určitou dobu. Udává se obvykle v minutách za kalendářní rok.

$$SAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{N_T} = \frac{\sum \text{doba trvání dlouhodobého přerušení u zákazníka}}{\text{celkový počet připojených zákazníků}} \quad (7)$$

kde r_i je doba trvání dlouhodobého přerušení dané události

- Ukazatel CAIDI udává průměrnou dobu trvání přerušení zákazníka

$$CAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{\sum N_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI} = \frac{\sum \text{doba trvání přerušení u zákazníka}}{\text{celkový počet přerušení u zákazníků}} \quad (8)$$

- Ukazatel MAIFI se využívá pro hodnocení krátkodobých přerušení a uvádí průměrnou četnost krátkodobých přerušení.

$$MAIFI = \frac{\sum IM_i N_{mi}}{N_T} = \frac{\sum \text{celkový počet zák. postižených krátkodobým přeruš.}}{\text{celkový počet připojených zákazníků}} \quad (9)$$

kde IM_i je počet krátkodobých přerušení

N_{mi} je počet zákazníků postižených krátkodobým přerušením způsobeným danou událostí

Hladinové ukazatele

- Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině h v hodnoceném období

$$SAIFI_h = \frac{\sum_j n_{jh}}{N_{sh}} \quad (10)$$

kde h je označení hodnocené napěťové hladiny (nn, vn nebo vvn),

j je pořadové číslo události v hodnoceném období,

n_{jh} je celkový počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h , jimž bylo způsobeno přerušení distribuce elektřiny dané kategorie v důsledku j -té události,

N_{sh} je celkový počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h ke konci předchozího kalendářního roku.

- Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině h v hodnoceném období

$$SAIDI_h = \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{sh}} \quad (11)$$

kde t_{sj} je součet všech dob trvání přerušení distribuce elektřiny v důsledku j -té události u jednotlivých zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h , jimž byla přerušena distribuce elektřiny, stanovený jako:

$$t_{sj} = \sum_i t_{ji} \cdot n_{jhi} \quad (12)$$

kde i je pořadové číslo manipulačního kroku v rámci j -té události,
 t_{ji} je doba trvání i -tého manipulačního kroku v rámci j -té události,
 n_{jhi} je počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h , jimž bylo způsobeno přerušení distribuce elektřiny dané kategorie v i -tém manipulačním kroku j -té události.

- Průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině h v hodnoceném období

$$CAIDI_h = \frac{SAIDI_h}{SAIFI_h} \quad (13)$$

Systémové ukazatele

- Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období

$$SAIFI_s = \frac{\sum_{h=\{nn,vn,vvn\}} \sum_j n_{jh}}{N_s} \quad (14)$$

kde N_s je celkový počet zákazníků v soustavě (na hladinách nn, vn, a vvn) ke konci předchozího kalendářního roku.

- Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období

$$SAIDI_s = \frac{\sum_{h=\{nn,vn,vvn\}} \sum_j t_{sj}}{N_s} \quad (15)$$

- Průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období

$$CAIDI_s = \frac{SAIDI_s}{SAIFI_s} \quad (16)$$

Vztahy pro výpočet ukazatelů nepřetržitosti přenosu elektřiny

- Průměrná doba trvání jednoho přerušení přenosu elektřiny v roce

$$t_{ph} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (17)$$

kde i je pořadové číslo přerušení přenosu elektřiny v hodnoceném roce,

n je roční počet přerušení přenosu elektřiny,

t_i je doba trvání i -tého přerušení přenosu elektřiny.

- Nedodaná elektrická energie v roce

$$W_{ned} = \sum_{i=1}^n t_i P_{ned,i} \quad (18)$$

kde $P_{ned,i}$ je výkon dopravovaný účastníkovi trhu s elektřinou do předávacího místa z přenosové soustavy, ve kterém došlo k i -tému přerušení přenosu elektřiny, těsně před tímto přerušením [3].

3 Poruchovost v sítích vn za rok 2018

Kapitola se nezabývá plánovaným omezením distribuce elektřiny. Krátkodobá omezení v rámci plánovaných odstávek jsou považována za neplánovaná omezení distribuce elektrické energie a řadí se mezi poruchové události. Jednotlivé poruchové události se dále rozdělují do následujících kategorií.

TYP UDÁLOSTI

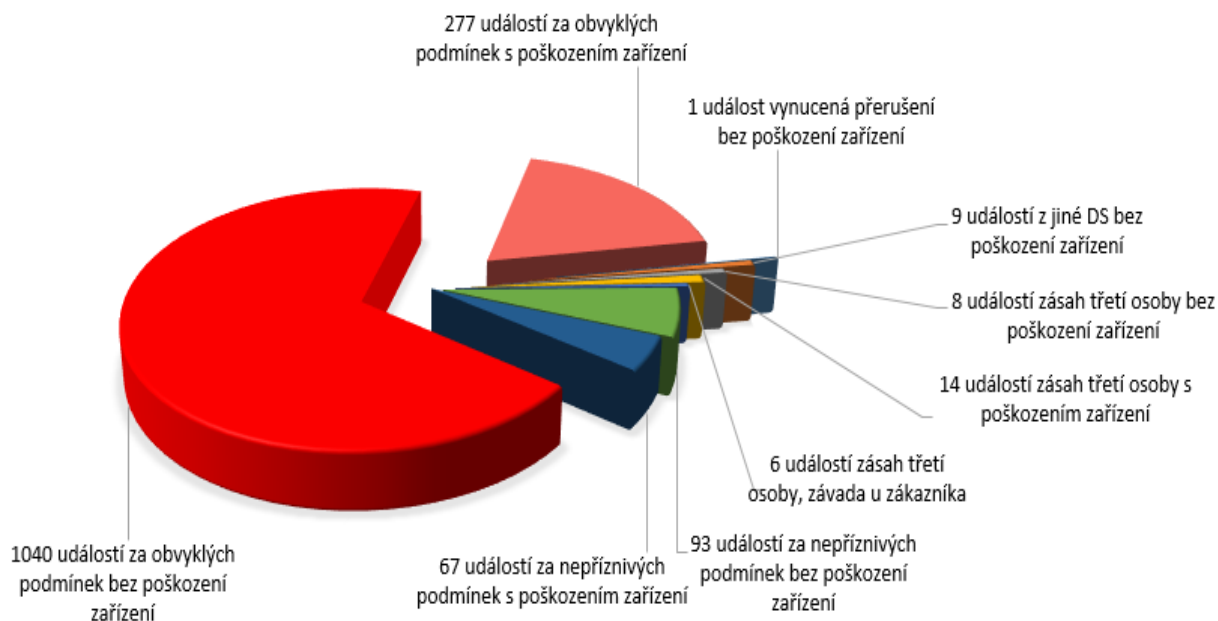
Kód	Význam
11	porucha mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustav nebo jejím provozu za obvyklých povětrnostních podmínek
12	porucha v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby
13	porucha v důsledku události mimo soustavu a u výrobce
14	mimořádné
15	vynucená
16	porucha mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustavy nebo jejím provozu za nepříznivých povětrnostních podmínek [5]

Vyhodnocení poruchovosti je provedeno v regionu Morava za rok 2018 na venkovním a podzemním kabelovém vedení vysokého napětí. V regionu Morava se rozprostírá 7743 km venkovního vedení vn a pod zemí se nachází celkově 2631 km vedení [3].

Uvedená data slouží pouze k přibližnému seznámení s poruchovostí v daném roce.

3.1 Poruchy venkovního vedení vn

Během roku 2018 bylo na zkoumaném území evidováno 1515 poruch na vysokém napětí venkovního vedení. Tyto poruchy se dále rozdělují do několika kategorií například neplánována přerušení za obvyklých povětrnostních podmínek, nepříznivých povětrnostních podmínek, vynucená přerušení, krátkodobá omezení, dlouhodobá omezení a jiné, jak lze vidět na následujícím grafu 3.1. Toto je výčet všech poruch a to jak dlouhodobých, tak krátkodobých trvajících do třech minut [4].

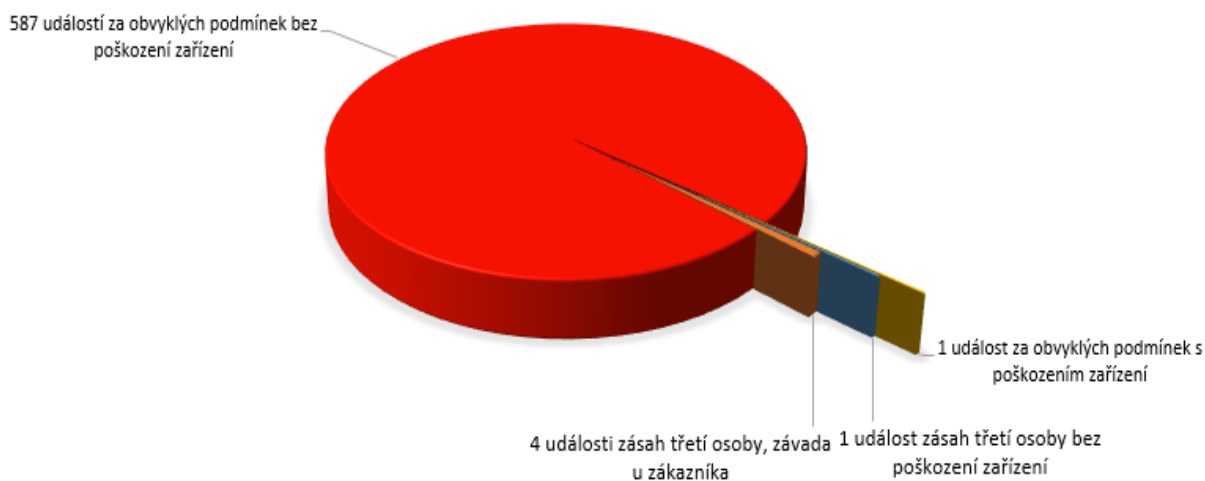


Graf 3. 1 Poruchy venkovního vedení vn za rok 2018

Nejčastější poruchou bývá porucha za obvyklých povětrnostních podmínek bez poškození zařízení PDS. Je to například pád stromu na vedení, kdy dojde k výpadku elektrické energie, ale nepoškodí se tím zařízení. Následná oprava bývá časově nenáročná. Pouze její nalezení je z pravidla dlouhodobé a to příčinou rozsáhlé vzdálenosti jednotlivých vedení a obtížné dostupnosti zejména v horském terénu.

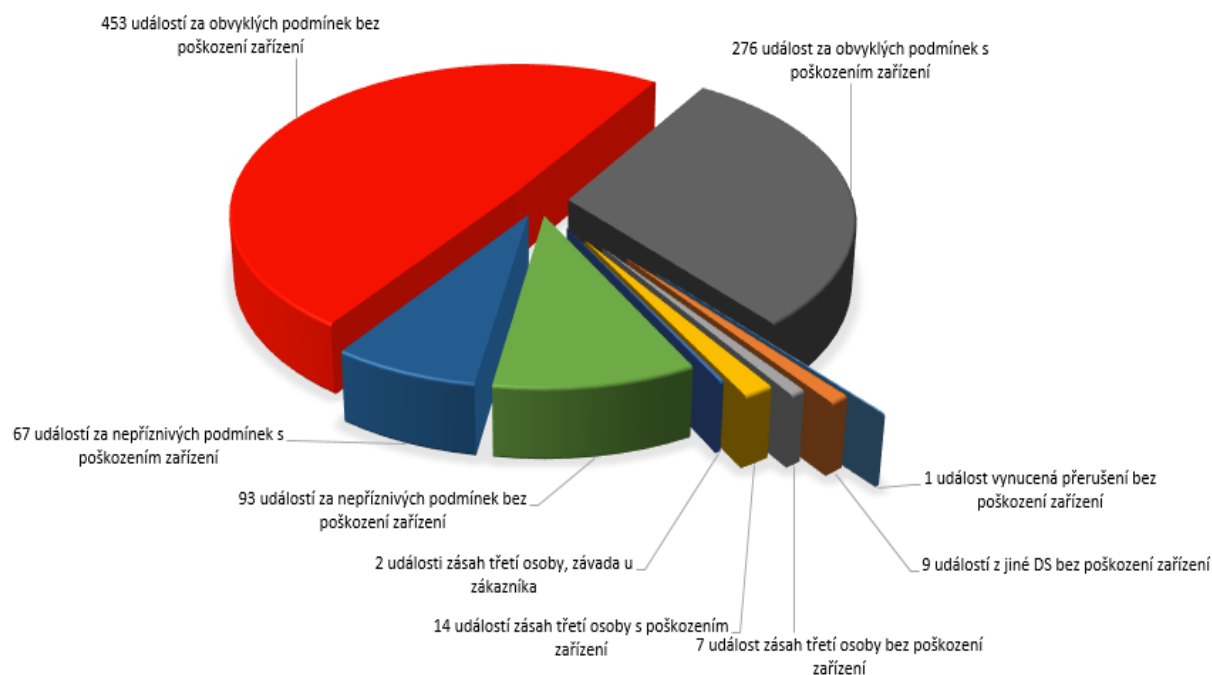
3.2 Rozdělení krátkodobých a dlouhodobých poruch

Vzhledem k stoupající náročnosti odběratelů a zpříšňujícím se podmínkám od energetického regulačního úřadu se začínají sledovat také krátkodobá přerušení trvající do třech minut. Je proto vhodné, podívat se na následující grafy 3.2 a 3.3 na rozčlenění kolik z celkového počtu přerušení bylo právě krátkodobých a kolik dlouhodobých.



Graf 3. 2 Celkový počet a rozdělení pouze krátkodobých poruch

Z výše uvedeného grafu 3.1 vidíme, že z celkového počtu 1515 poruch je právě 39,1 % krátkodobých poruch do 3 minut. Krátkodobé omezení jsou všechny události způsobené například manipulacemi z důvodu plánované odstávky, kdy je zapotřebí vymezit a vymanipulovat patřičnou část vedení nebo zařízení, tyto manipulační kroky nemusejí být hlášeny zákazníkům. Dalším častým krátkodobým výpadkem je například pád stromu na vedení, respektive pád větve, která se takzvaně sveze po vodičích a samovolně spadne na zem. Nic méně k výpadku vedení již dojde a po opětovném zapnutí je vše v pořádku.



Graf 3. 3 Celkový počet a rozdělení pouze dlouhodobých událostí

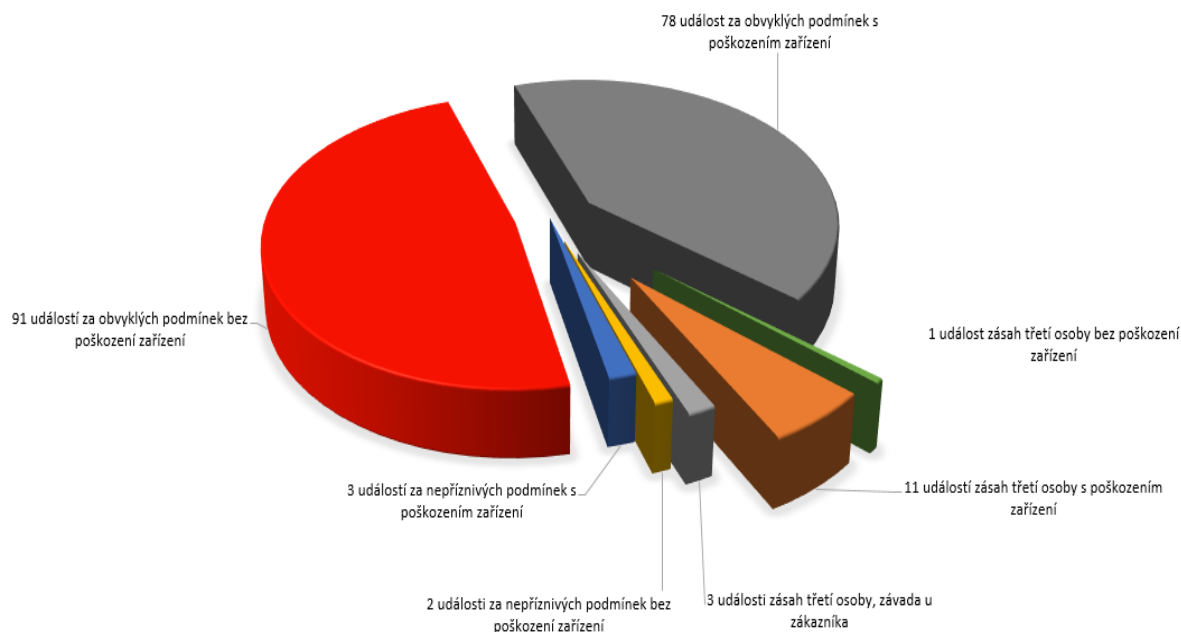
Další rozdělení dlouhodobých poruch vidíme v grafu 3.3, jako je například zásah třetí osoby, kdy dojde k výpadku způsobeným neúmyslným zásahem, jako jsou autonehody, neodborné kácení v blízkosti vedení vysokého napětí a jiné. Toto množství není nikterak velké, ale z celkového počtu poruch je snad i zanedbatelné.

Velký podíl mají také poruchy vzniklé za nepříznivých povětrnostních podmínek. Jsou to poruchy způsobené každoročními kalamitními stavy, které postihují Českou republiku. Tyto poruchy jsou vyjmuty z výpočtů ukazatelů nepřetržitosti dodávky a nijak je tedy nenavyšují.

Nejzajímavější pro nás budou tedy poruchy vzniklé za obvyklých povětrnostních podmínek trvajících nad 3 minuty s i bez poškození zařízení, kterých vzniklo celkem 729. Během těchto poruch bylo omezeno 871 188 zákazníků na hladině nízkého napětí a 4688 zákazníků na hladině vysokého napětí. To je průměrně 1228,8 zákazníků nízkého napětí a 7,8 zákazníků vysokého napětí na jednu poruchu [4].

3.3 Poruchy kabelového vedení vn

V průběhu roku 2018 bylo na zkoumaném území evidováno 189 poruch na vysokém napětí kabelového vedení. Tyto poruchy se dále rozdělují do několika kategorií například neplánovaná přerušení za obvyklých povětrnostních podmínek, nepříznivých povětrnostních podmínek, vynucená přerušení, krátkodobá omezení, dlouhodobá omezení stejně jako události na venkovním vedení. Zobrazení všech poruch, a to jak dlouhodobých, tak krátkodobých trvajících do třech minut vidíme na grafu 3.4 [4].



Graf 3. 4 Poruchy kabelového vedení vn za rok 2018

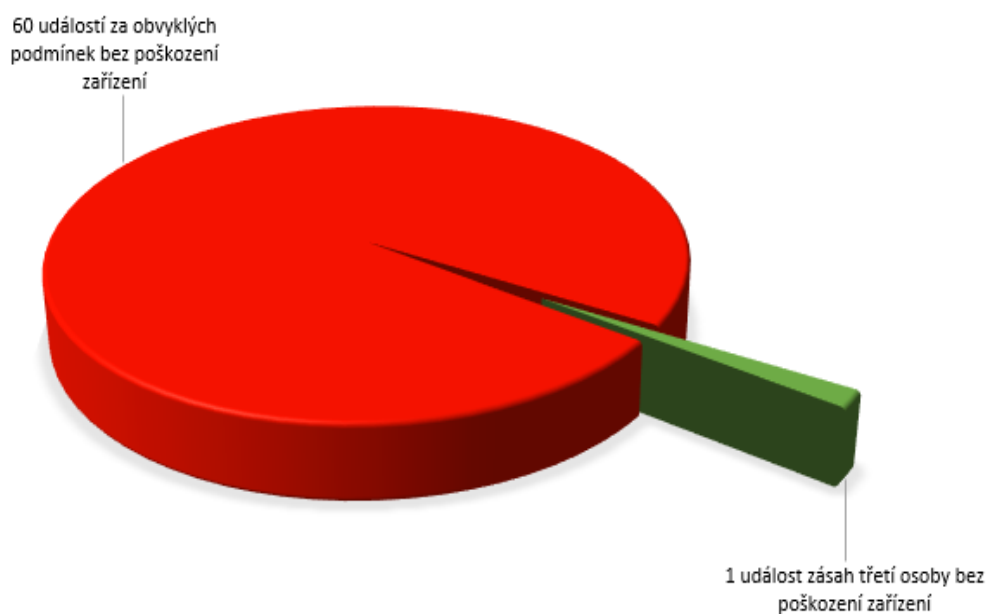
Obdobně jako u venkovního vedení, převládají poruchy způsobené za obvyklých povětrnostních podmínek, jelikož silný nárazový vítr nebo sněhová kalamita nemají na kabelové vedení valný vliv. Nejčastější poruchou na kabelovém vedení bývá stárnutí a degradace izolační vrstvy samotného kabelu případně problémy se ztrátou izolačních vlastností u kabelových koncovek. Následná oprava bývá časově náročná, protože je poruchu nutné nejprve lokalizovat, odebrat zeminu a odborným způsobem provést spojku na kabelu. Následně probíhají napěťové zkoušky izolačního stavu a až po úspěšné zkoušce se může kabel opět uvést do provozu. Nespornou výhodou u kabelových vedení ovšem bývá, že to není paprsek, jako u vedení venkovního. Lze tedy obnovit dodávku elektrické energie po druhém kabelu.

Z hlediska spolehlivosti není nejdůležitější okamžitá oprava poškozeného kabelu, ale hlavně nalezení a vymezení poruchového místa.

3.4 Rozdělení krátkodobých a dlouhodobých poruch

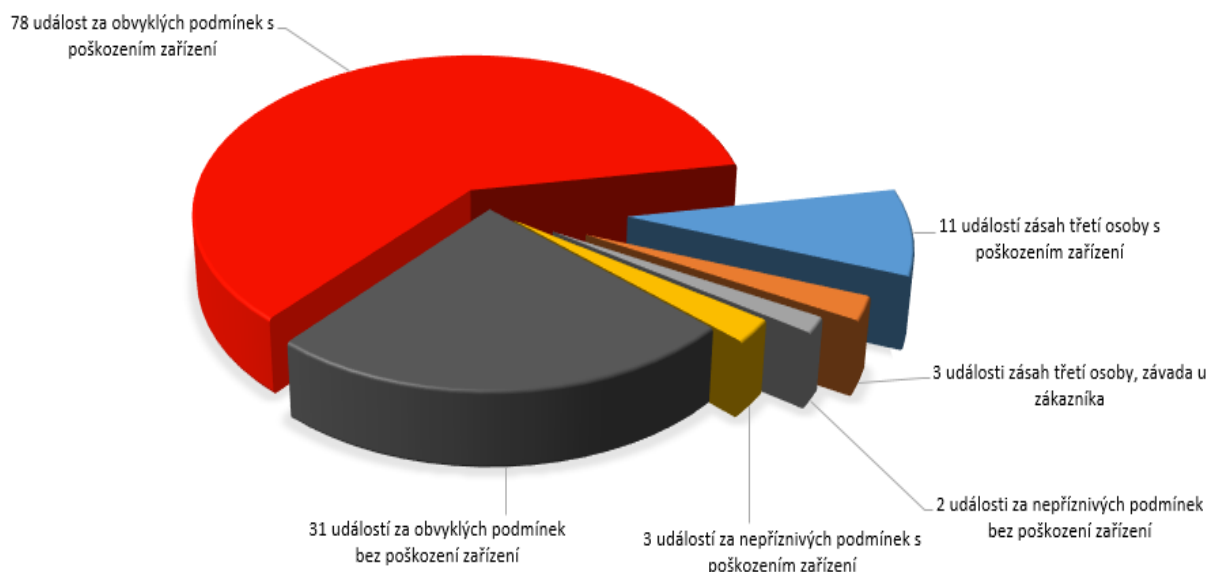
Obdobně jako u venkovního vedení i zde máme poruchy dlouhodobé a krátkodobé pod tři minuty a jejich rozdělení zobrazuje graf 3.5 a 3.6.

Z celkového počtu krátkodobých poruch 61 je jedna zapříčiněna třetí osobou. Zbytek je důsledkem manipulací při převádění vedení z důvodu plánovaných odstávek případně nahodilých výpadků bez zjevné příčiny, kdy po opětovném zapnutí je dodávka obnovena.



Graf 3. 5 Celkový počet a rozdělení pouze krátkodobých poruch

Z grafů 3.5 a 3.6 vidíme, že z celkového počtu 169 poruch za obvyklých povětrnostních podmínek s i bez poškození zařízení je právě 18,3 % krátkodobých. Vzhledem k venkovnímu vedení je to podstatně méně, a to převážně z důvodu větší odolnosti vůči okolním vlivům.



Graf 3. 6 Celkový počet a rozdělení pouze dlouhodobých poruch

I přes relativně nízký počet poruch na kabelovém vedení je v porovnání s venkovním vedením značný počet způsobený třetími osobami a to převážně poruchy způsobené při výkopových pracích v městské zástavbě. I přes moderní vytyčovací zařízení, která lokalizují trasu kabelu s velkou přesností, a to jak směru, tak také hloubky uložení dochází ke kontaktu a následně poškození izolačního stavu.

Můžeme si také všimnout absence poruch za nepříznivých povětrnostních podmínek, což je bezesporu jedna z nemalých výhod kabelového vedení. Nehledě na neposkvrněný ráz přírodní krajiny v případě kabelizace venkovního vedení.

Opět se budeme zabývat pouze poruchami nad tři minuty za příznivých povětrnostních podmínek s i bez poškozením zařízení, kterých vzniklo během roku 2018 pouhých 109. Během těchto událostí však bylo omezeno 212 734 zákazníků na hladině nízkého napětí a 618 zákazníků na hladině vysokého napětí. To je průměrně 1969,8 zákazníků nízkého napětí a 6,5 zákazníků vysokého napětí na jednu poruchu [4].

Z výše uvedeného vyplývá, že i přes rapidně nižší počet poruch na kabelovém vedení připadá na jednu poruchu o 741 zákazníků nízkého napětí více oproti vedení venkovnímu. S odběrateli vysokého napětí je to naopak o 1,25 zákazníka méně. Je proto důležitější zabývat se vedením kabelovým, jelikož při výpadku bývá omezeno více odběrných míst, což má za následek zvyšující se hodnoty ukazatelů nepřetržitosti dodávky elektrické energie.

4 Implementace dálkově ovládaných prvků do kabelové sítě vn

Kabelové sítě vn jsou navrhovány v kruhovém zapojení. Trafostanice v těchto sítích jsou připojovány, zasmyčkováním průběžného kabelu. To znamená, že každá trafostanice má dva přívody. V mnoha případech může mít i více například tři nebo čtyři. Takové potom označujeme jako uzlové trafostanice. To vše záleží od topologie sítě a umístění trafostanice. Tyto tak zvané kruhy jsou provozovány převážně rozpojené s možností napájení z druhé strany. Takto je zajištěna vyšší spolehlivost dodávky elektrické energie v případě poruchy na jednom z kabelů vn.

Implementací dálkově ovládaných prvků minimalizujeme jak rozsah omezeného úseku, tak hlavně délku trvání omezení a to převážně z důvodů rychlých manipulací mezi jednotlivými trafostanicemi převážně do tří minut. Odpadá tak nutnost výjezdu poruchové služby na jednotlivé manipulační kroky trvající řádově desítky minut.

4.1 Manuální ovládaní prvků kabelové sítě vn a porucha případ první

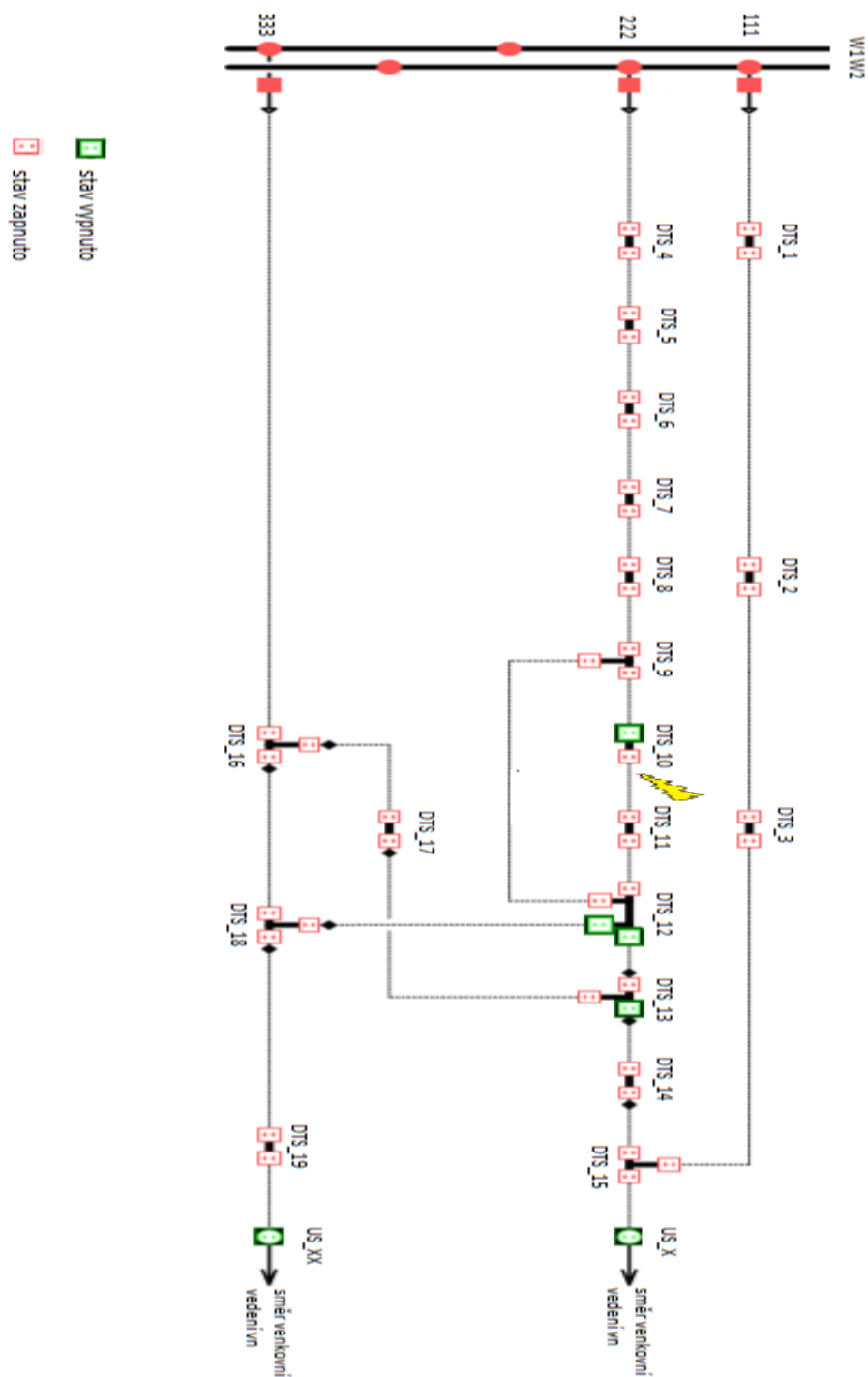
Pro lepší představu si ukážeme lokalizaci a vymezování vadné kabelové smyčky v klasické kabelové síti bez dálkově ovládaných prvků na obrázku 4.1, kde zeleně podbarvené čtverečky symbolizují vypnutý stav v určitém směru a naopak červeně podbarvené čtverečky symbolizují stav zapnutý.

Kabelové vedení je provozováno v síti IT. Nyní v čase t_0 dojde k poruše mezi DTS_10 a DTS_11. Ochrany na rozvodně zareagují na zemní spojení, jestliže se jedná pouze o jednu fázi, v našem případě budeme uvažovat úplnou destrukci a ztrátu izolačních vlastností kabelu a tedy třífázový zkrat. Ochrany na rozvodně vybaví vypínač a ten vypne vedení vn_222. Omezení nastává v čase t_0 pro DTS_4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 a 12. Jediné, co může v momentální situaci dispečer vn provádět je vyslat do terénu poruchovou službu a požádat o manipulační krok tedy rozpojení vedení na přibližně dva stejné úseky v DTS_9 směr DTS_8. Takto postupným půlením omezených trafostanic společně vymezí poškozenou kabelovou smyčku.

Po provedení manipulace montérem v čase t_{20} zapne dispečer vedení vn_222. Dojde k obnovení dodávky pro DTS_4, 5, 6, 7 a 8. Následně je v čase t_{22} vedení vn_222 opět vypnuto a montér zapne v beznapětovém stavu DTS_9 směr DTS_8. Přejede do trafostanice DTS_12 a v čase t_{32} vypne v beznapětovém stavu směr DTS_11. Dispečer zapne vedení vn_222. Obnovení dodávky tak nastává v čase t_{32} pro DTS_4, 5, 6, 7, 8, 9 a 12. V čase t_{34} dispečer opět vypne vedení vn_222 a montér zapne v DTS_12 směr DTS_11. Opět se přesune do DTS_11 a v čase t_{50} vypne v beznapětovém stavu směr DTS_10 a dispečer v tomtéž čase naposledy zapne vedení vn_222 a nastává obnovení dodávky pro DTS_4, 5, 6, 7, 8, 9, 12 a 11. Je zřejmé, že porucha se nachází až na poslední kabelové smyčce mezi DTS_11 a DTS_10. Montér zajistí bezpečnostní tabulkou vypnutý vývod a přesune se do DTS_10. V DTS_10 vypne a zajistí vývod směr DTS_11 a v čase t_{60} zapne vývod směr DTS_9. Od tohoto času nastává celkové obnovení dodávky pro všechny omezené odběratele. Časový průběh jednotlivých omezení a obnovení dodávky lze vidět na obrázku 5.1.

Počet zákazníků jednotlivých trafostanic:

DTS_1	100 zákazníků nn	DTS_2	100 zákazníků nn	DTS_3	100 zákazníků nn
DTS_4	100 zákazníků nn	DTS_5	100 zákazníků nn	DTS_6	100 zákazníků nn
DTS_7	100 zákazníků nn	DTS_8	100 zákazníků nn	DTS_9	100 zákazníků nn
DTS_10	100 zákazníků nn	DTS_11	10 zákazníků vn	DTS_12	100 zákazníků nn
DTS_13	100 zákazníků nn	DTS_14	100 zákazníků nn	DTS_15	100 zákazníků nn
DTS_16	100 zákazníků nn	DTS_17	100 zákazníků nn	DTS_18	100 zákazníků nn
DTS_19	100zákazníků nn				



Obrázek 4.1 Kabelové vedení bez dálkově ovládaných prvků porucha první [4]

4.2 Dálkové ovládání prvků kabelové sítě vn a porucha případ první

Základním předpokladem pro správné provozování dálkově ovládaných trafostanic je jejich potřebné vybavení a jejich umístění na správná místa kabelové sítě. Tyto trafostanice musejí být vybaveny směrovými indikátory průchodu nadproudu a zemního proudu. Vliv dálkově ovládaných prvků lze vidět na obrázku 5.2.

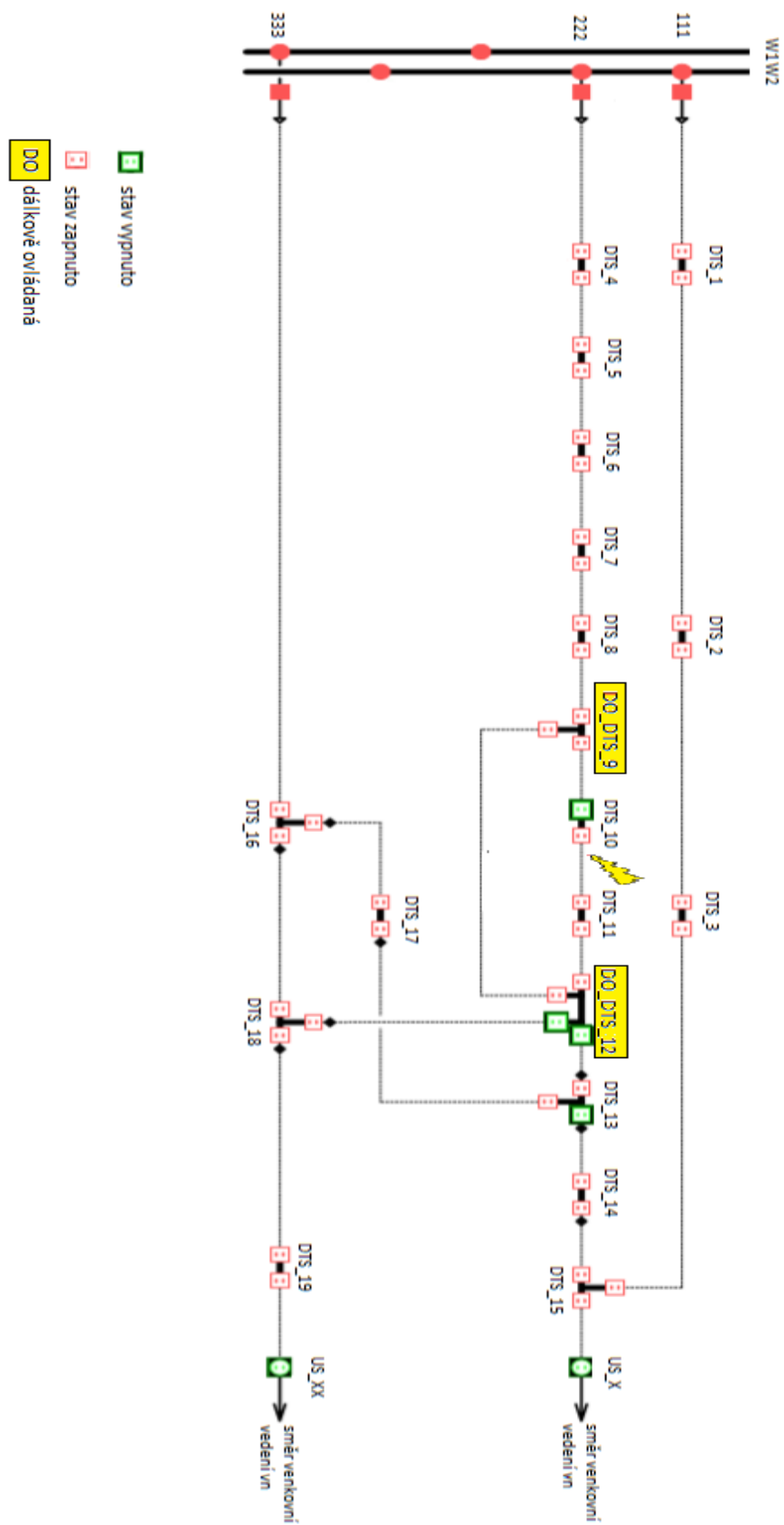
Pro variantu dálkově ovládaných prvků zůstává porucha na stejném místě v totožném kabelovém vedení. Jediná změna nastává s nasazením dvou dálkově ovládaných trafostanic a to DTS_9 a DTS_12 se všemi nutnými parametry ke správné funkci trafostanice.

Kabelové vedení je provozováno v síti IT. Nyní v čase t_0 dojde k poruše mezi DTS_10 a DTS_11. Ochrany na rozvodně zareagují na zemní spojení, jestliže se jedná pouze o jednu fázi, v našem případě budeme uvažovat úplnou destrukci a ztrátu izolačních vlastností kabelu a tedy třífázový zkrat. Ochrany na rozvodně vybaví vypínač a ten vypne vedení vn_222. Omezení nastává v čase t_0 pro DTS_4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 a 12. Z měření a odečtu ochrany zjistí dispečer průběh zkratového proudu již přes DTS_12 bude tedy zřejmé, že porucha se nachází směrem k DTS_11 a dále. Vypne tedy dálkově v DTS_12 směr DTS_11 a zapne v čase t_3 vedení vn_222. Obnovení dodávky nastává pro DTS_4, 5, 6, 7, 8, 9 a 12. Další manipulace nelze provést dálkově vyše tak montéra, aby provedl další manipulační krok vypnutím v DTS_11 směr DTS_10. Montér dorazí na místo a v čase t_{22} provede manipulaci v beznapěťovém stavu. Dispečer v čase t_{22} vypne vedení vn_222, dálkově v beznapěťovém stavu zapne v DTS_12 směr DTS_11 a následně v čase t_{26} zapne vedení vn_222. Tím obnoví dodávku elektrické energie pro DTS_11. Je tedy lokalizován vadný kabel mezi DTS_11 a DTS_10 montér provede zajištění tabulkou patřičný vývod a přesune se do DTS_10 kde v čase t_{42} vypne a zajistí bezpečnostní tabulkou směr DTS_11. V té době již dispečer vypne v DO_DTS_9 směr DTS_10 a montér zapne v beznapěťovém stavu směr DTS_9. Dispečer dálkově zapne DO_DTS_9 směr DTS_10 a tímto v čase t_{45} nastává obnovení dodávky pro všechny omezené odběratele. Časový průběh jednotlivých omezení a obnovení dodávky lze vidět na obrázku 5.2.

Prvotní vymezení a vymanipulování poruchové části proběhlo do třech minut od výpadku elektrické energie a omezené zůstaly dvě trafostanice, které již nelze dálkově vymezit. Tento čas bude samozřejmě záležet, jak na zkušenostech, tak celkovém přehledu o nastalé situaci daným dispečerem. Dalším faktorem, který může nastalou situaci prodloužit je aktuální poruchovost v distribuční soustavě. Předpokládáme běžný bezporuchový nikoli kalamitní stav.

Počet zákazníků jednotlivých trafostanic:

DTS_1	100	zákazníků	nn	DTS_2	100	zákazníků	nn	DTS_3	100	zákazníků	nn
DTS_4	100	zákazníků	nn	DTS_5	100	zákazníků	nn	DTS_6	100	zákazníků	nn
DTS_7	100	zákazníků	nn	DTS_8	100	zákazníků	nn	DTS_9	100	zákazníků	nn
DTS_10	100	zákazníků	nn	DTS_11	10	zákazníků	vn	DTS_12	100	zákazníků	nn
DTS_13	100	zákazníků	nn	DTS_14	100	zákazníků	nn	DTS_15	100	zákazníků	nn
DTS_16	100	zákazníků	nn	DTS_17	100	zákazníků	nn	DTS_18	100	zákazníků	nn
DTS_19	100	zákazníků	nn								



Obrázek 4.2 Kabelové vedení s dálkově ovládanými prvky první porucha [4]

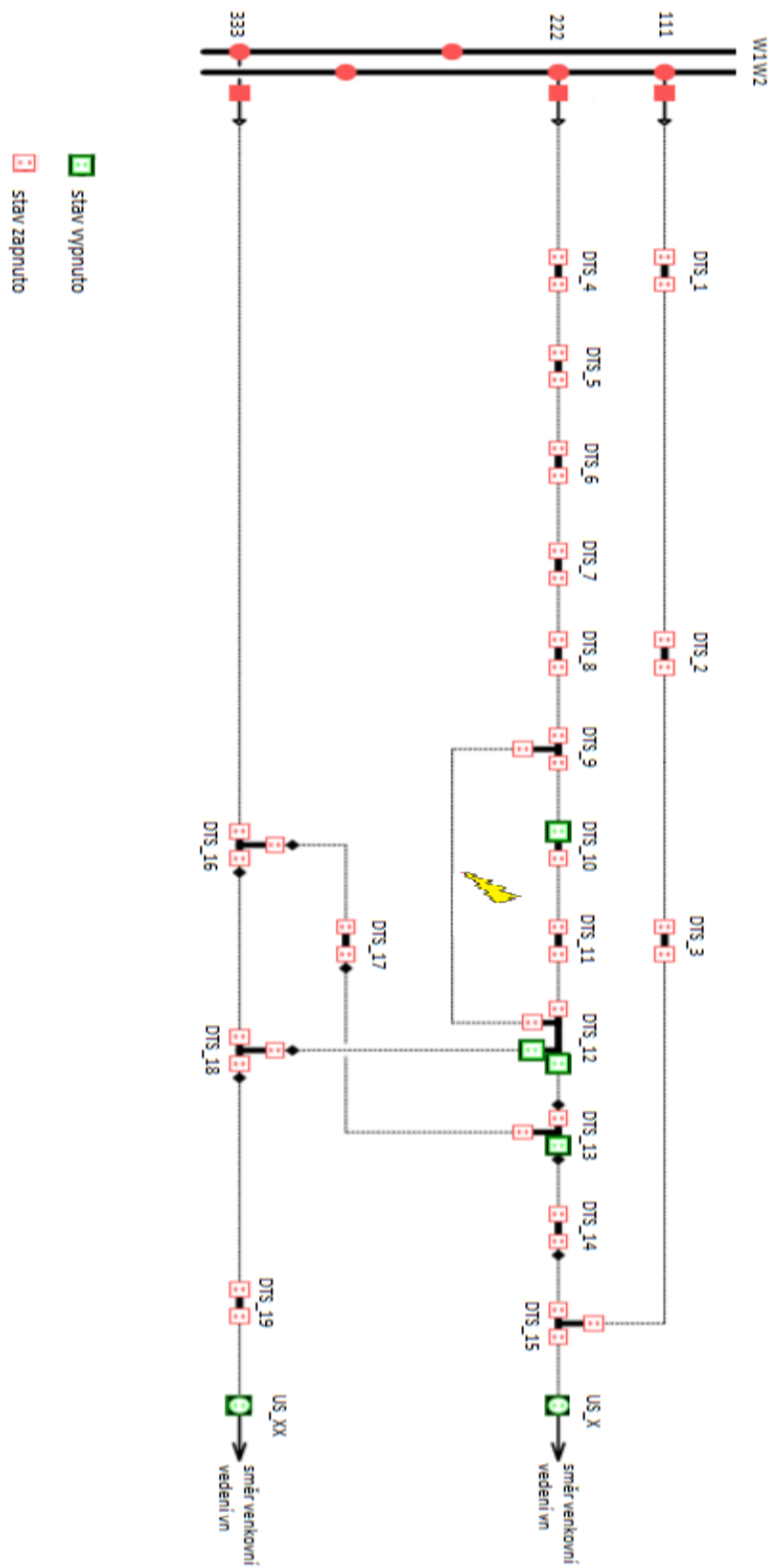
4.3 Manuální ovládání prvků kabelové sítě vn a porucha případ druhý

Manipulační a časový průběh v případě poruchy kabelové smyčky mezi DTS_9 a DTS_12. V čase t_0 dojde k poruše a reakci ochran na rozvodně. Odpojením vn_222 nastává omezení pro všechny trafostanice na daném vývodu. Dispečer vyšle do terénu montéra a požádá o vypnutí v DTS_9 směr DTS_8. Montér v čase t_{20} provede manipulační krok a dispečer zapne vedení vn_222. Dojde k obnovení dodávky pro DTS_4, 5, 6, 7 a 8. V čase t_{22} je vedení vn_222 opět vypnuto a montér zapne v beznapěťovém stavu DTS_9 směr DTS_8. Přejede do trafostanice DTS_12 a v čase t_{32} vypne v beznapěťovém stavu směr DTS_11 a dispečer zapne vedení vn_222 to následně okamžitě vypadne trvající poruchou, která byla tímto lokalizována mezi DTS_9 a DTS_12. Montér provede vypnutí a zajištění bezpečnostní tabulkou směr z DTS_12 na DTS_9. Přejede do DTS_10 a zapne v beznapěťovém stavu směr DTS_9 odtud následně přejede do DTS_9, kde vypne a zajistí směr DTS_12. Dispečer v čase t_{50} zapne vedení vn_222 a nastává obnovení dodávky pro všechny omezené trafostanice.

Časový průběh jednotlivých omezení a obnovení dodávky lze vidět na obrázku 5.3.

Počet zákazníků jednotlivých trafostanic:

DTS_1	100	zákazníků	nn	DTS_2	100	zákazníků	nn	DTS_3	100	zákazníků	nn
DTS_4	100	zákazníků	nn	DTS_5	100	zákazníků	nn	DTS_6	100	zákazníků	nn
DTS_7	100	zákazníků	nn	DTS_8	100	zákazníků	nn	DTS_9	100	zákazníků	nn
DTS_10	100	zákazníků	nn	DTS_11	10	zákazníků	vn	DTS_12	100	zákazníků	nn
DTS_13	100	zákazníků	nn	DTS_14	100	zákazníků	nn	DTS_15	100	zákazníků	nn
DTS_16	100	zákazníků	nn	DTS_17	100	zákazníků	nn	DTS_18	100	zákazníků	nn
DTS_19	100	zákazníků	nn								



Obrázek 4.3 Kabelové vedení bez dálkově ovládaných prvků porucha druhá [4]

4.4 Dálkové ovládaní prvků kabelové sítě vn a porucha případ druhý

Pro variantu dálkově ovládaných prvků zůstává porucha na stejném místě v totožném kabelovém vedení. Jediná změna nastává s nasazením dvou dálkově ovládaných trafostanic a to DTS_9 a DTS_12 se všemi nutnými parametry ke správné funkci trafostanice.

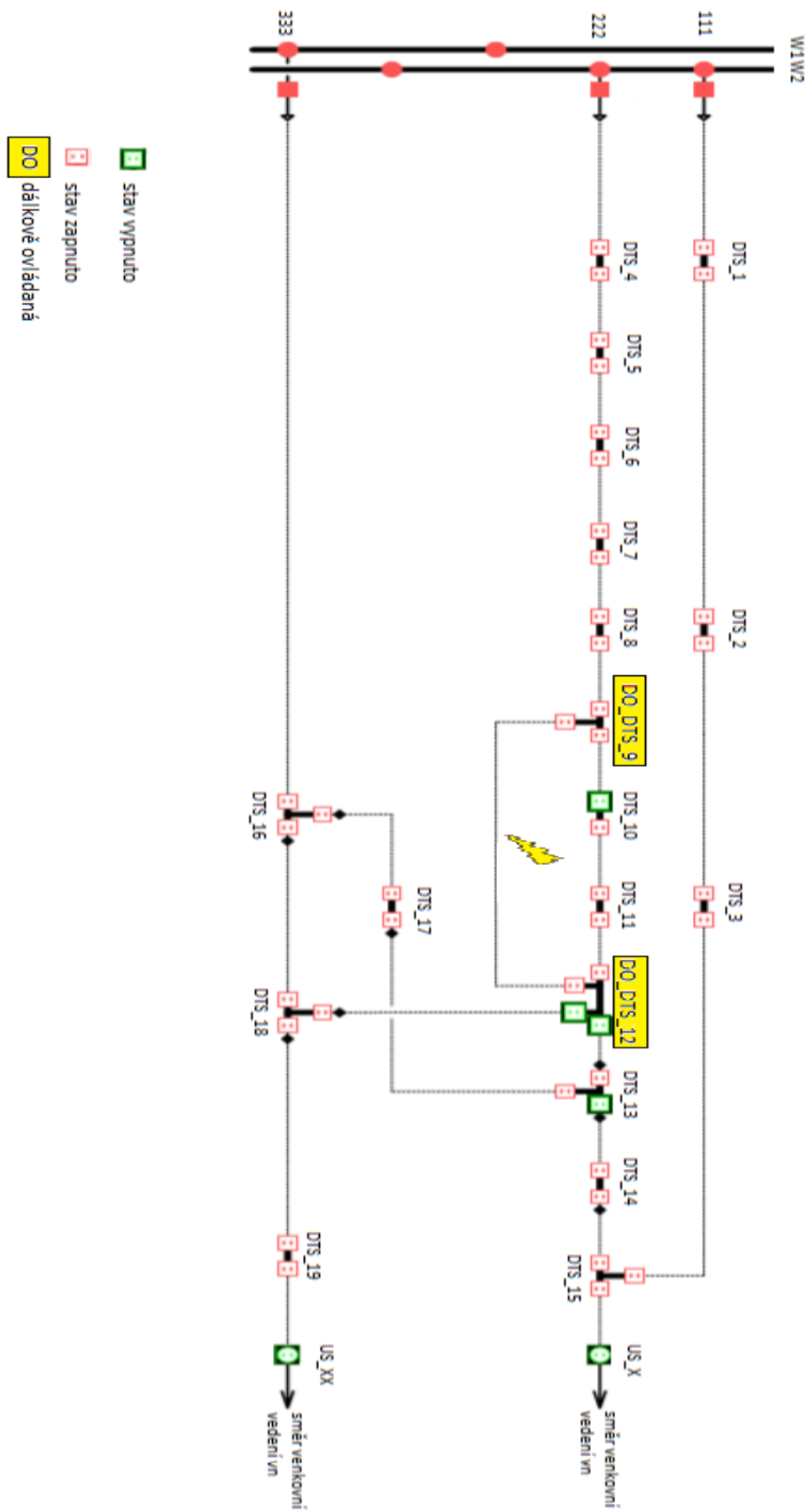
Manipulační a časový průběh v případě poruchy kabelové smyčky mezi DTS_9 a DTS_12. V čase t_0 dojde k poruše a reakci ochran na rozvodně. Odpojením vn_222 nastává omezení pro všechny trafostanice na daném vývodu. Z měření a odečtu ochran zjistí dispečer průběh zkratového proudu pouze přes DO_DTS_9 nikoli DO_DTS_12 tím vyhodnotí poruchu právě mezi těmito trafostanicemi. V čase t_2 dálkově vypne v DTS_9 směr DTS_12 a taktéž druhý směr z DTS_12 do DTS_9 vadná kabelová smyčka je tímto vymezená a dále v čase t_3 zapne vn_222. Současně zapne v čase t_3 směr z DTS_12 na libovolný směr buďto do DTS_13 nebo DTS_18 tím obnoví dodávku pro zbylé DTS_12,11 a 10.

Celé vymezení a vymanipulování poruchy proběhlo do třech minut od výpadku elektrické energie. Tento čas bude samozřejmě teoretický, záleží bude jak na zkušenostech, tak celkovém přehledu o nastalé situaci daným dispečerem. Dalším faktorem, který může nastalou situaci prodloužit je aktuální poruchovost v distribuční soustavě. Předpokládáme běžný bezporuchový nikoli kalamitní stav. Až po těchto manipulacích vyjíždí montér na místo poruchy a zajistí oba vypnuté směry v DO_DTS_9 a DO_DTS_12. Následně se bude porucha vyhledávat a zaměřovat měřícím vozem. Toto jsou již úkony, které nijak neomezuji dodávku elektrické energie.

Časový průběh jednotlivých omezení a obnovení dodávky lze vidět na obrázku 5.4.

Počet zákazníků jednotlivých trafostanic:

DTS_1	100	zákazníků	nn	DTS_2	100	zákazníků	nn	DTS_3	100	zákazníků	nn
DTS_4	100	zákazníků	nn	DTS_5	100	zákazníků	nn	DTS_6	100	zákazníků	nn
DTS_7	100	zákazníků	nn	DTS_8	100	zákazníků	nn	DTS_9	100	zákazníků	nn
DTS_10	100	zákazníků	nn	DTS_11	10	zákazníků	vn	DTS_12	100	zákazníků	nn
DTS_13	100	zákazníků	nn	DTS_14	100	zákazníků	nn	DTS_15	100	zákazníků	nn
DTS_16	100	zákazníků	nn	DTS_17	100	zákazníků	nn	DTS_18	100	zákazníků	nn
DTS_19	100	zákazníků	nn								



Obrázek 4.4 Kabelové vedení s dálkově ovládanými prvky porucha druhá [4]

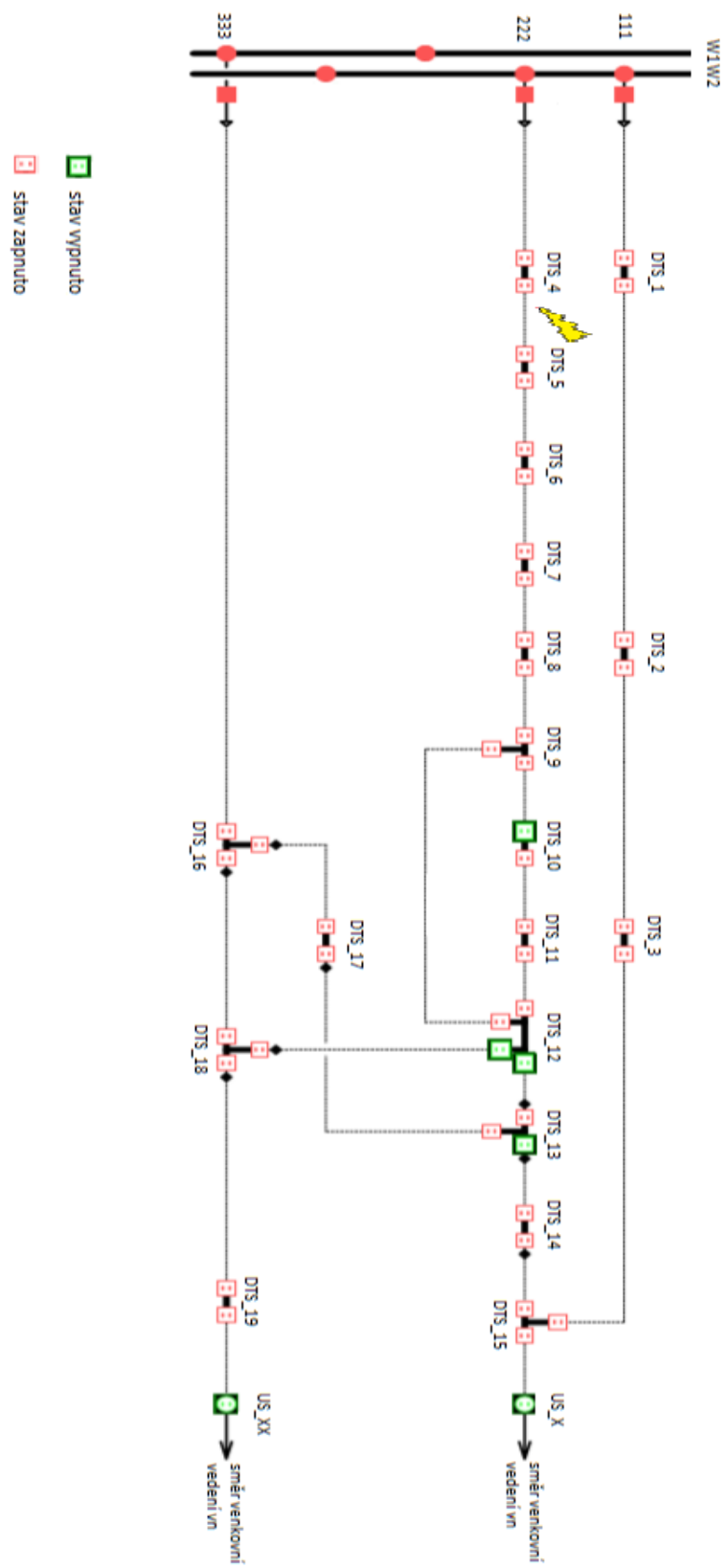
4.5 Manuální ovládání prvků kabelové sítě vn a porucha případ třetí

Manipulační a časový průběh v případě poruchy kabelové smyčky mezi DTS_4 a DTS_5. V čase t_0 dojde k poruše a reakci ochran na rozvodně. Odpojením vn_222 nastává omezení pro všechny trafostanice na daném vývodu. Dispečer vyšle do terénu montéra a požádá o vypnutí v DTS_9 směr DTS_8. Montér v čase t_{20} provede manipulační krok a dispečer zapne vedení vn_222. Dojde k opětovnému výpadku vedení vn_222 a je zřejmé, že poruchový stav se nachází na první polovině rozděleného vedení. Montér se na výzvu dispečera přesune do DTS_12 kde vyčká na povel zapnutí v daném směru a to v beznapěťovém stavu. Dispečer tedy v čase t_{32} vypne vedení vn_333 a zároveň montér v čase zapne v beznapěťovém stavu v DTS_12 směr DTS_13. Dispečer následně zapne v čase t_{35} vedení vn_333 a obnoví dodávku elektrické energie pro DTS_9, 10, 11, 12 na původně omezeném vedení vn_222 a taktéž po krátkodobém omezení pro DTS_13, 16, 17, 18 a 19 na vn_333. Omezení trvá pro DTS_4, 5, 6, 7 a 8. Montér se dále přesune do DTS_6 kde v čase t_{50} vypne v stále beznapěťovém stavu směr DTS_7. Dispečer zapne vedení vn_222 které opět vypadne. Montér opět zapne vypnutý směr a přesune se do DTS_5 kde v beznapěťovém stavu v čase t_{60} vypne směr DTS_6. Dispečer provede zkušební zapnutí, které bude neúspěšné. Montér zapne vypnutý směr a přesune se do DTS_4 kde v beznapěťovém stavu vypne v čase t_{70} směr DTS_5. Dispečer provede zkušební zapnutí vn_222 tentokrát úspěšně a dojde k obnovení dodávky elektrické energie u DTS_4 v tomtéž čase t_{70} . Montér provede zajištění vývodu bezpečnostní tabulkou v DTS_4 směr DTS_5 a přesune se do DTS_5 kde vypne a zajistí vývod směr DTS_4. Následně se přesune do DTS_9 a v součinnosti s dispečerem vyčká na povel. Dispečer v čase t_{82} vypne vedení vn_333 montér zapne směr DTS_8 a dispečer v čase t_{85} zapne vedení vn_333. Obnovení dodávky elektrické energie tak nastává pro všechny omezené DTS.

Časový průběh jednotlivých omezení a obnovení dodávky lze vidět na obrázku 5.5.

Počet zákazníků jednotlivých trafostanic:

DTS_1	100	zákazníků	nn	DTS_2	100	zákazníků	nn	DTS_3	100	zákazníků	nn
DTS_4	100	zákazníků	nn	DTS_5	100	zákazníků	nn	DTS_6	100	zákazníků	nn
DTS_7	100	zákazníků	nn	DTS_8	100	zákazníků	nn	DTS_9	100	zákazníků	nn
DTS_10	100	zákazníků	nn	DTS_11	10	zákazníků	vn	DTS_12	100	zákazníků	nn
DTS_13	100	zákazníků	nn	DTS_14	100	zákazníků	nn	DTS_15	100	zákazníků	nn
DTS_16	100	zákazníků	nn	DTS_17	100	zákazníků	nn	DTS_18	100	zákazníků	nn
DTS_19	100	zákazníků	nn								



Obrázek 4.5 Kabelové vedení bez dálkově ovládaných prvků porucha třetí [4]

4.6 Dálkové ovládání prvků kabelové sítě vn a porucha případ třetí

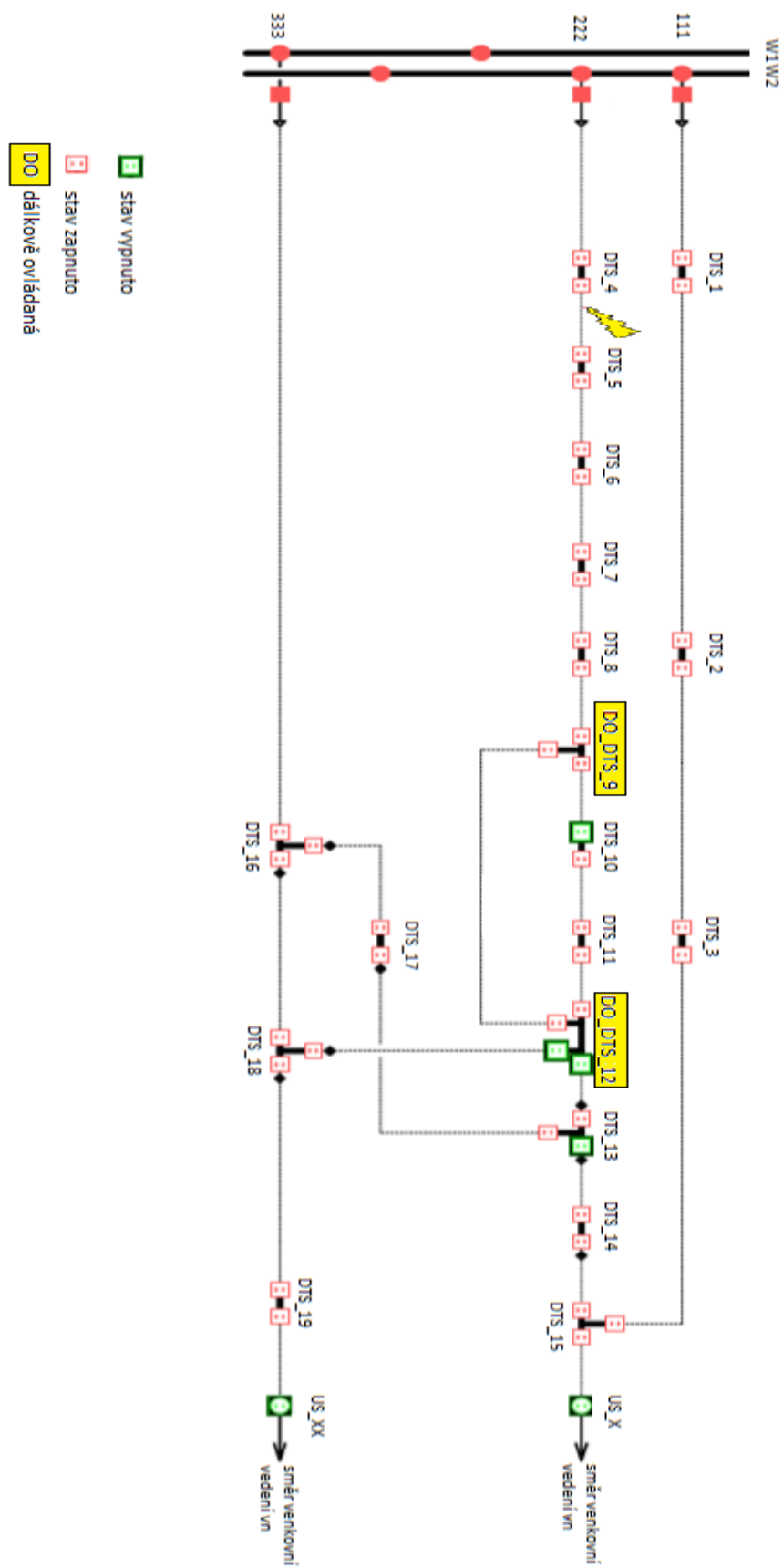
Pro variantu dálkově ovládaných prvků zůstává porucha na stejném místě v totožném kabelovém vedení. Jediná změna nastává s nasazením dvou dálkově ovládaných trafostanic a to DTS_9 a DTS_12 se všemi nutnými parametry ke správné funkci trafostanice.

Manipulační a časový průběh v případě poruchy kabelové smyčky mezi DTS_4 a DTS_5. V čase t_0 dojde k poruše a reakci ochran na rozvodně. Odpojením vn_222 nastává omezení pro všechny trafostanice na daném vývodu. Jelikož nezjistí dispečer v dálkově monitorovaných trafostanicích průběh zkratového proudu na ochranách, bude pravděpodobné, že se porucha nachází před těmito trafostanicemi. V čase t_2 dálkově vypne v DTS_9 směr DTS_8 a následně v čase t_3 dálkově zapne v DTS_12 směr DTS_18 obnovení dodávky elektrické energie tak nastává pro DTS_9, 10, 11 a 12. Nadále je potřeba manuálních manipulací a proto vyšle dispečer montéra do DTS_6 kde v čase t_{23} vypne v stále beznapětovém stavu směr DTS_7. Dispečer zapne vedení vn_222 které opět vypadne. Montér opět zapne vypnutý směr a přesune se do DTS_5 kde v beznapětovém stavu v čase t_{33} vypne směr DTS_6. Dispečer provede zkušební zapnutí, které bude neúspěšné. Montér zapne vypnutý směr a přesune se do DTS_4 kde v beznapětovém stavu vypne v čase t_{43} směr DTS_5. Dispečer provede zkušební zapnutí vn_222 tentokrát úspěšně a dojde k obnovení dodávky elektrické energie u DTS_4 v tomtéž čase t_{43} . Montér provede zajištění vývodu bezpečnostní tabulkou v DTS_4 směr DTS_5 a přesune se do DTS_5 kde vypne a zajistí čase t_{53} vývod směr DTS_4. Následně dispečer dálkově zapne v DTS_9 směr DTS_8 a v čase t_{55} nastává obnovení dodávky elektrické energie pro zbylé omezené trafostanice.

V tomto typu poruchy pomohou dálkově ovládané trafostanice obnovit dodávku jen v několika trafostanicích a následný postup je obdobný jako v předcházejícím případě bez osazení DO_DTS. Časový průběh jednotlivých omezení a obnovení dodávky lze vidět na obrázku 5.6.

Počet zákazníků jednotlivých trafostanic:

DTS_1	100	zákazníků	nn	DTS_2	100	zákazníků	nn	DTS_3	100	zákazníků	nn
DTS_4	100	zákazníků	nn	DTS_5	100	zákazníků	nn	DTS_6	100	zákazníků	nn
DTS_7	100	zákazníků	nn	DTS_8	100	zákazníků	nn	DTS_9	100	zákazníků	nn
DTS_10	100	zákazníků	nn	DTS_11	10	zákazníků	vn	DTS_12	100	zákazníků	nn
DTS_13	100	zákazníků	nn	DTS_14	100	zákazníků	nn	DTS_15	100	zákazníků	nn
DTS_16	100	zákazníků	nn	DTS_17	100	zákazníků	nn	DTS_18	100	zákazníků	nn
DTS_19	100	zákazníků	nn								



Obrázek 4.6 Kabelové vedení s dálkově ovládanými prvky porucha třetí [4]

4.7 Shrnutí variant

Čtvrtá kapitola simulovala tři rozdílná poruchová místa na totožném kabelovém vedení 22kV. Rozdíly mezi místně a dálkově ovládanými trafostanicemi jsou patrné na první pohled v obrázcích znázorňující časový sled událostí během lokalizace a vymezení poruchového místa. Nelze si nevšimnout nesporné výhody v rychlosti a menším počtu manipulací mezi jednotlivými situacemi v případech, kdy jsou na vedení osazeny dálkově ovládané trafostanice. Nejpatrnější rozdíl v délce omezení a také v manipulacích postihující odběratele je v případě druhé simulované poruchy mezi DO_DTS_9 a DO_DTS_12. Obě tyto trafostanice jsou právě dálkově ovládané a vybavené zařízením pro snímání průběhu proudu a napětí v dané síti. Tato fakta výrazně napomohla k téměř okamžitému lokalizování a vymezení poruchového místa. Naopak nejmenší ale i přesto výrazný přínos je v případě simulace třetí poruchy, kdy nastala porucha hned za první trafostanicí na daném vývodu vn_222 směrem od rozvodny. Jeden z důvodů tohoto malého přínosu je velké rozestoupení mezi dálkově ovládanými trafostanicemi od poruchy. V případech hustějšího osazení dálkově ovládaných DTS by byl výsledek pozitivnější. V kabelové síti byly použity pouze dvě dálkově ovládané trafostanice, ale přesto byl jejich přínos značně veliký, jak ukazují jednotlivé případy [5].

Dojezdové časy montéra pro jednotlivé manipulace mezi trafostanicemi byly ve všech případech totožné. Tyto časy jsou však závislé na momentální dopravní situaci a hlavně na pozicích každé trafostanice vzhledem k městské zástavbě. Jiné dojezdové časy budou v méně dopravně komplikovaných městech a naopak. Toto se bude lišit od každého individuálního případu a okamžité situace.

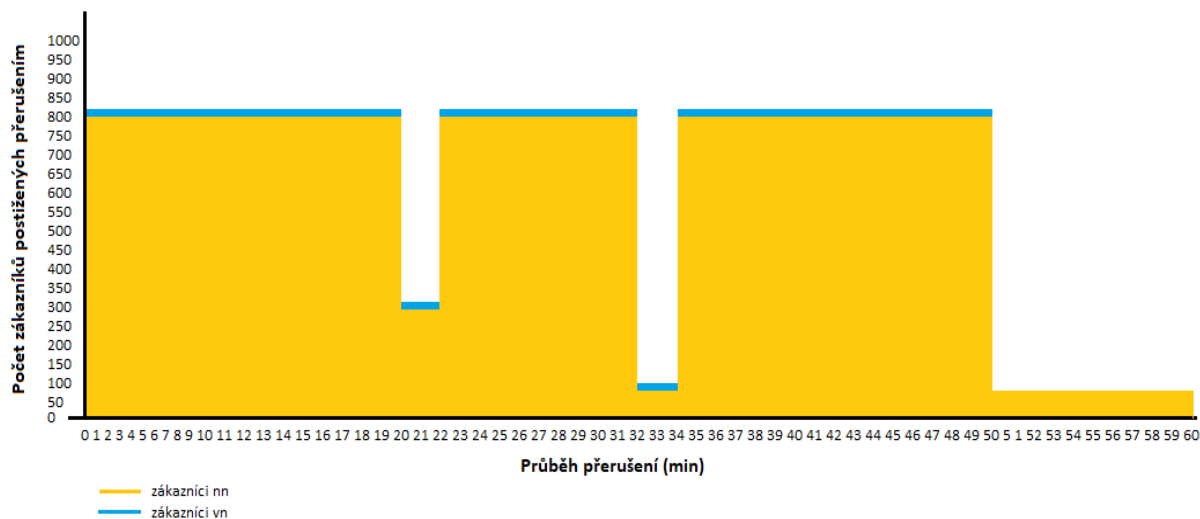
Také počty odběratelů jsou pro každý příklad stejné a taktéž budou v každé reálné situaci odlišné. Celkový dopad na ukazatele nepřetržitosti dodávky elektrické energie budou dále zobrazeny v následující páté části společně s obrázky znázorňujícími časový sled událostí při obnově dodávky elektrické energie a počtu omezených odběratelů.

5 Dopad na parametry SAIDI a SAIFI

V této části bude pozornost zaměřena na jednotlivé poruchové případy z kapitoly čtyři a budou vypočítány a porovnány ukazatele nepřetržitosti SAIDI a SAIFI pro každý případ. Úkolem dálkově ovládaných prvků v kabelovém vedení je eliminace počtu a dob trvání jednotlivých dlouhodobých přerušení při lokalizaci a vymezení poruchového místa. Tyto fakta lze ostatně pozorovat také na jednotlivých grafických průbězích každého případu.

Následující ukazatele nepřetržitosti dodávky elektrické energie jsou počítány pro odběratele na výše zobrazeném kabelovém vedení vn a pro celkový počet odběratelů nn, vn.

5.1 SAIDI a SAIFI pro manuální ovládaní prvků při první poruše



Obrázek 5.1 Grafický průběh přerušení při první poruše-manuální ovl.

- Systémové ukazatele

$$\begin{aligned}
 SAIFI_S &= \frac{\sum_{h=(nn,vn)} \sum_j n_{jh}}{N_S} = \frac{n_{1nn} + n_{1vn}}{N_S} \\
 &= \frac{(100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100) + (10)}{1810} \\
 &= 0,448 \text{ (1/rok/zákazník)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SAIDI_S &= \frac{\sum_{h=(nn,vn)} \sum_j t_{sj}}{N_S} = \frac{t_{s1nn} + t_{s1vn}}{N_S} \\
 &= \frac{(19 \cdot 800) + (2 \cdot 300) + (10 \cdot 800) + (2 \cdot 100) + (16 \cdot 800) + (10 \cdot 100) + (50 \cdot 10)}{1810} \\
 &= 21,16 \text{ (min/rok/zákazník)}
 \end{aligned}$$

- Hladinové ukazatele

$$SAIFI_{nn} = \frac{\sum_j n_{jnn}}{N_{Snn}} = \frac{n_{1nn}}{N_{Snn}} = \frac{8 \cdot 100}{1800} = 0,4 \text{ (1/rok/zákazník)}$$

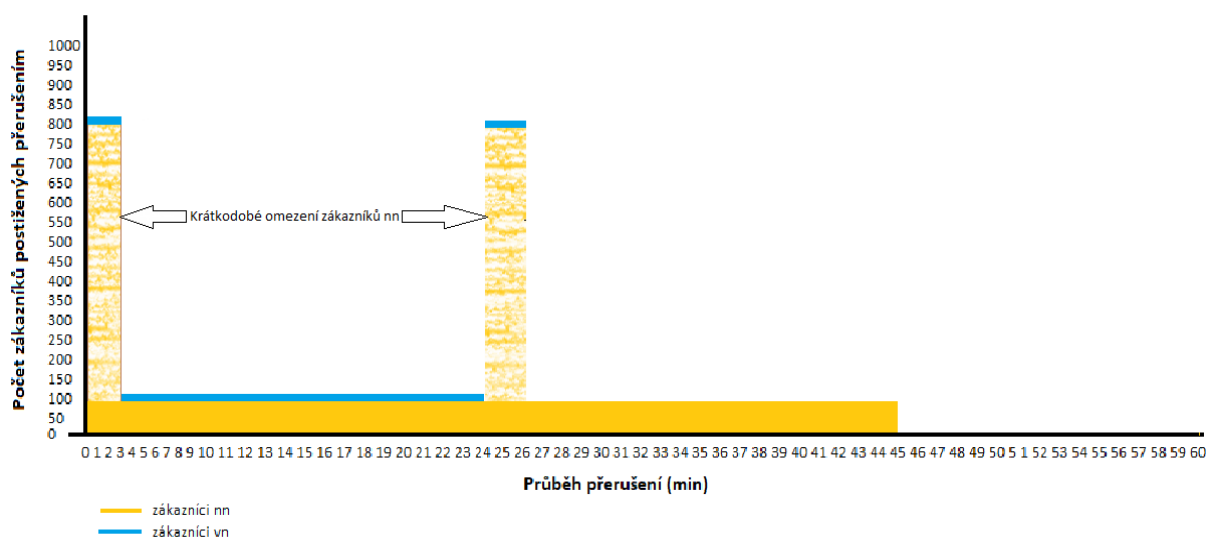
$$\begin{aligned} SAIDI_{nn} &= \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{Snn}} = \frac{t_{s1nn}}{N_{Snn}} \\ &= \frac{(19 \cdot 800) + (2 \cdot 300) + (10 \cdot 800) + (2 \cdot 100) + (16 \cdot 800) + (10 \cdot 100)}{1800} \\ &= 21 \text{ (min/rok/zákazník)} \end{aligned}$$

$$SAIFI_{vn} = \frac{\sum_j n_{jvn}}{N_{Svn}} = \frac{n_{1vn}}{N_{Svn}} = \frac{10}{10} = 1 \text{ (1/rok/zákazník)}$$

$$SAIDI_{vn} = \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{Svn}} = \frac{t_{s1vn}}{N_{Svn}} = \frac{50 \cdot 10}{10} = 50 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

Na obrázku 5.1 vidíme časový sled událostí od vzniku poruchy v čase t_0 až konec v čase t_{60} . Osa x znázorňuje dobu přerušení v minutách a osa y počet omezených zákazníků. Omezení distribuce pro lokalizaci a vymezení poruchy trvalo 60 minut pro téměř všechny napájené odběratele na postiženém vedení vn. Pouze mezi jednotlivými manipulacemi při lokalizaci docházelo k obnově dodávky na několik minut. Ze systémového ukazatele SAIDI vidíme, že i přes rozdělení celkové doby omezení mezi všechny odběratele na ukázkovém vedení je hodnota značně vysoká a to 21,16 minut na zákazníka. Což je velká hodnota vzhledem k faktu, že porucha trvala 60 minut.

5.2 SAIDI a SAIFI pro dálkové ovládní prvků při první poruše



Obrázek 5.2 Grafický průběh přerušení při první poruše-dálkové ovl.

- Systémové ukazatele

$$SAIFI_S = \frac{\sum_{h=(nn,vn)} \sum_j n_{jh}}{N_S} = \frac{n_{1nn} + n_{1vn}}{N_S} = \frac{(100) + (10)}{1810} = 0,061 \text{ (1/rok/zákazník)}$$

$$SAIDI_S = \frac{\sum_{h=(nn,vn)} \sum_j t_{sj}}{N_S} = \frac{t_{s1nnDO} + t_{s1vnDO}}{N_S} = \frac{(45 \cdot 100) + (26 \cdot 10)}{1810} = 2,63 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

- Hladinové ukazatele

$$SAIFI_{nn} = \frac{\sum_j n_{jnn}}{N_{Snn}} = \frac{n_{1nn}}{N_{Snn}} = \frac{100}{1800} = 0,05 \text{ (1/rok/zákazník)}$$

$$SAIDI_{nn} = \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{Snn}} = \frac{t_{s1nn}}{N_{Snn}} = \frac{45 \cdot 100}{1800} = 2,5 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

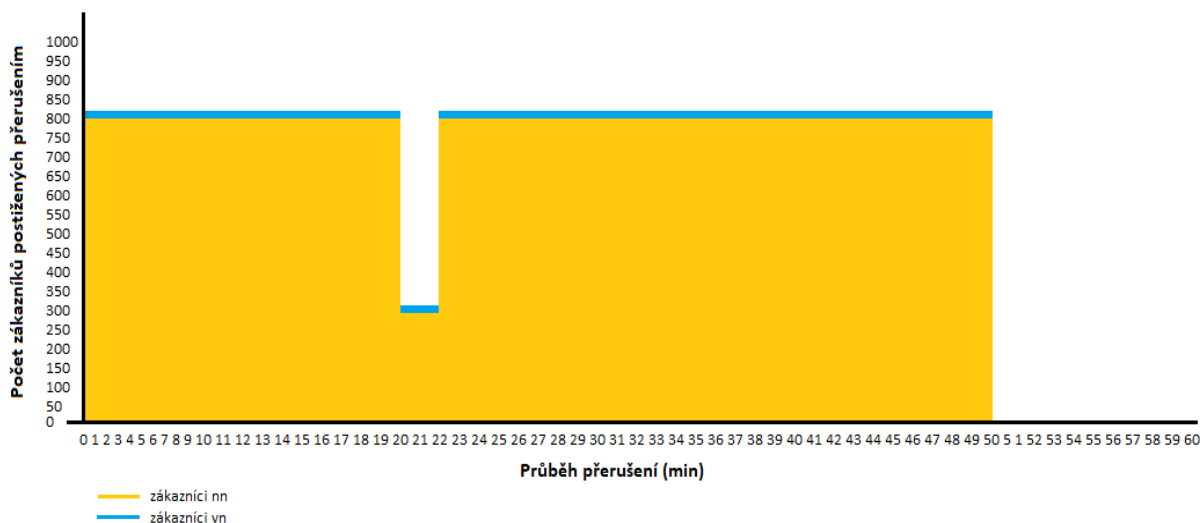
$$SAIFI_{vn} = \frac{\sum_j n_{jvn}}{N_{Svn}} = \frac{n_{1vn}}{N_{Svn}} = \frac{10}{10} = 1 \text{ (1/rok/zákazník)}$$

$$SAIDI_{vn} = \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{Svn}} = \frac{t_{s1vn}}{N_{Svn}} = \frac{26 \cdot 10}{10} = 26 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

$$MAIFI = \frac{\sum IM_i N_{mi}}{N_T} = \frac{(6 \cdot 700)}{1810} = 2,32 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

Podíváme-li se na obrázek 5.2, který znázorňuje tutěž poruchu, jako obrázek 5.1 vidíme časový sled událostí od vzniku poruchy v čase t_0 až konec v čase t_{40} . Osa x znázorňuje dobu přerušení v minutách a osa y počet omezených zákazníků. Na první pohled patrné zlepšení celkové doby omezení zákazníků během lokalizace a vymezení totožného poruchového místa jako v předešlém případě. Ostatně systémový ukazatel SAIDI vychází pouze 2,63 minut na zákazníka. Tato skutečnost je zapříčiněna osazením pouze dvou trafostanic s dálkově ovládanými prvky, jak lze vidět v kapitole čtyři na obrázku 4.2. Není tedy pochyb o značném přínosu těchto prvků při jejich nasazení. V tomto případě se výpadek dotknul pouze stovky odběratelů nn a deseti odběratelů vn. Další postihy byly krátkodobé a tedy do třech minut. Volba umístění DO_DTS by měla být bezpochyby právě u nejdůležitějších odběratelů, aby bylo možné zajistit právě jim rychlou obnovu dodávky elektrické energie.

5.3 SAIDI a SAIFI pro manuální ovládaní prvků při druhé poruše



Obrázek 5.3 Grafický průběh přerušení při druhé poruše-manuální ovl.

- Systémové ukazatele

$$SAIFI_S = \frac{\sum_{h=(nn,vn)} \sum_j n_{jh}}{N_S} = \frac{n_{2nn} + n_{2vn}}{N_S} = \frac{(100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100) + (10)}{1810} = 0,448 \text{ (1/rok/zákazník)}$$

$$SAIDI_S = \frac{\sum_{h=(nn,vn)} \sum_j t_{sj}}{N_S} = \frac{t_{s2nn} + t_{s2vn}}{N_S} = \frac{(20 \cdot 800) + (2 \cdot 300) + (28 \cdot 800) + (50 \cdot 10)}{1810} = 21,82 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

- Hladinové ukazatele

$$SAIFI_{nn} = \frac{\sum_j n_{jnn}}{N_{Snn}} = \frac{n_{2nn}}{N_{Snn}} = \frac{800}{1800} = 0,4 \text{ (1/rok/zákazník)}$$

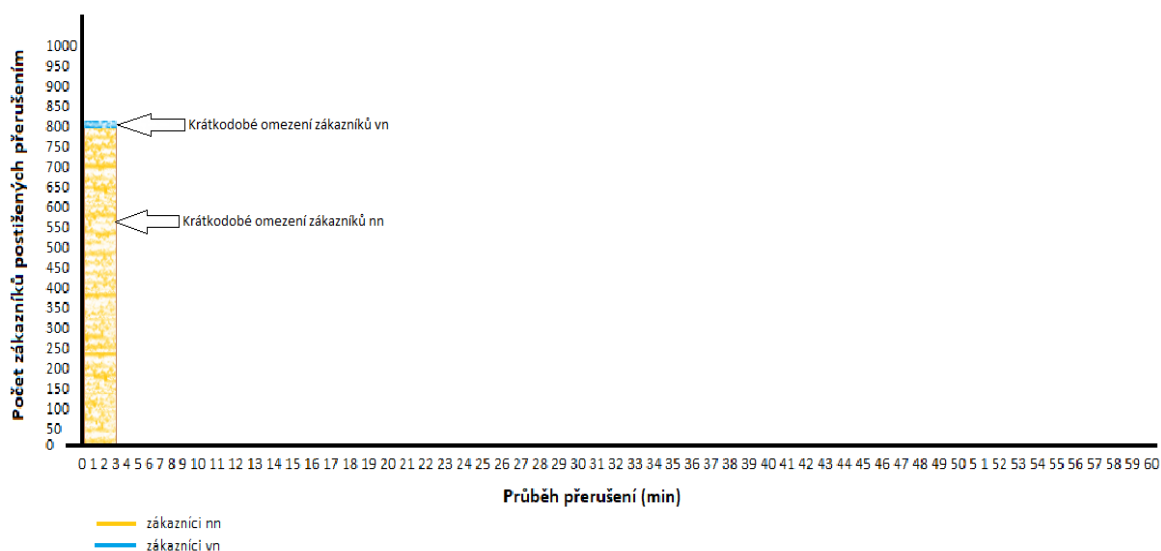
$$SAIDI_{nn} = \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{Snn}} = \frac{t_{s2nn}}{N_{Snn}} = \frac{(20 \cdot 800) + (2 \cdot 300) + (28 \cdot 800)}{1800} = 21,67 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

$$SAIFI_{vn} = \frac{\sum_j n_{jvn}}{N_{Svn}} = \frac{n_{2vn}}{N_{Svn}} = \frac{10}{10} = 1 \text{ (1/rok/zákazník)}$$

$$SAIDI_{vn} = \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{svn}} = \frac{t_{s2vn}}{N_{svn}} = \frac{50 \cdot 10}{10} = 50 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

Taktéž obrázku 5.3 vidíme časový sled událostí od vzniku poruchy v čase t_0 až konec v čase t_{50} . Osa x znázorňuje dobu přerušení v minutách a osa y počet omezených zákazníků. V případě této poruchy jsou téměř po celou dobu omezení všichni zákazníci na postiženém vedení. Systémový ukazatel SAIDI je 21,82 minut na zákazníka což je delší čas než v případě první poruchy i za skutečnosti rychlejší obnovy dodávky o celých deset minut.

5.4 SAIDI a SAIFI pro dálkové ovládání prvků při druhé poruše



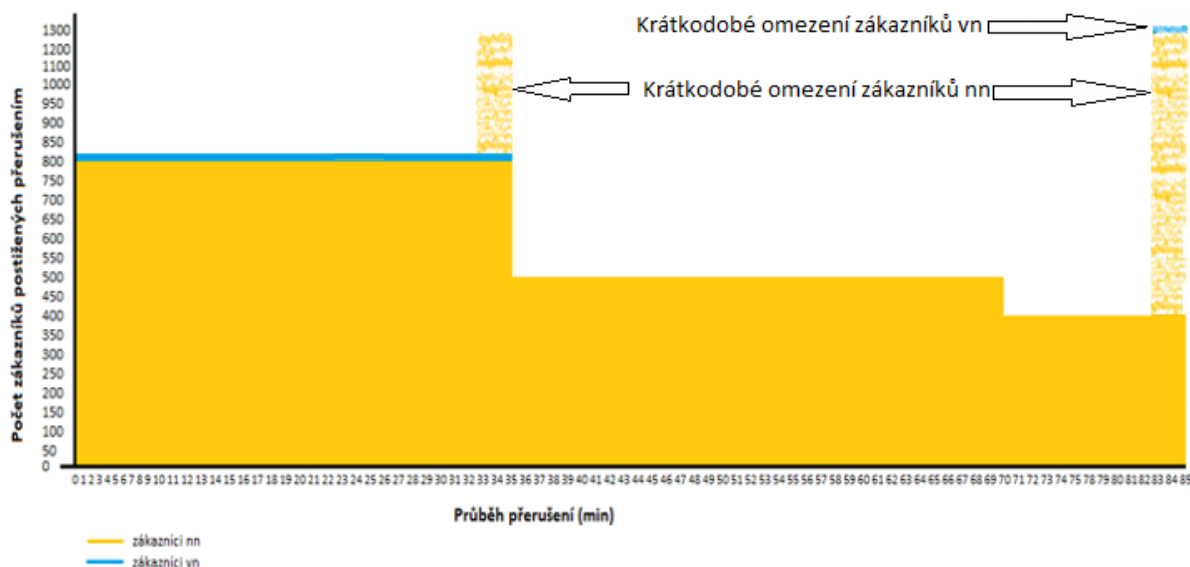
Obrázek 5.4 Grafický průběh přerušení při druhé poruše-dálkové ovl.

$$MAIFI = \frac{\sum IM_i N_{mi}}{N_T} = \frac{(3 \cdot 800) + (3 \cdot 10)}{1810} = 1,34 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

V tomto případě poruchy se nepočítají žádné ukazatele nepřetržitosti dodávky pro dlouhodobé omezení, jelikož se povedlo lokalizovat a vymezit poruchový úsek do třech minut, což se počítá do krátkodobého omezení zákazníků a tedy ukazatele MAIFI.

Můžeme tedy tvrdit, že se jedná o téměř dokonalé vymezení poruchy v dané síti vzhledem k minimálnímu omezení distribuce elektrické energie. Osa x znázorňuje dobu přerušení v minutách a osa y počet omezených zákazníků. Předpokladem pro takovýto průběh je okamžitá duchapřítomnost a přehled dispečera o momentální situaci a správné vyhodnocení naměřených veličin z dálkově ovládaných trafostanic.

5.5 SAIDI a SAIFI pro manuální ovládaní prvků při třetí poruše



Obrázek 5.5 Grafický průběh přerušení při třetí poruše-manuální ovl.

- Systémové ukazatele

$$SAIFI_S = \frac{\sum_{h=(nn,vn)} \sum_j n_{jh}}{N_S} = \frac{n_{3nn} + n_{3vn}}{N_S} = \frac{(100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100) + (10)}{1810} = 0,448 \text{ (1/rok/zákazník)}$$

$$SAIDI_S = \frac{\sum_{h=(nn,vn)} \sum_j t_{sj}}{N_S} = \frac{t_{s3nn} + t_{s3vn}}{N_S} = \frac{(35 \cdot 800) + (35 \cdot 500) + (15 \cdot 400) + (35 \cdot 10)}{1810} = 28,65 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

- Hladinové ukazatele

$$SAIFI_{nn} = \frac{\sum_j n_{jnn}}{N_{Snn}} = \frac{n_{3nn}}{N_{Snn}} = \frac{8 \cdot 100}{1800} = 0,4 \text{ (1/rok/zákazník)}$$

$$SAIDI_{nn} = \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{Snn}} = \frac{t_{s3nn}}{N_{Snn}} = \frac{(35 \cdot 800) + (35 \cdot 500) + (15 \cdot 400)}{1800} = 28,61 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

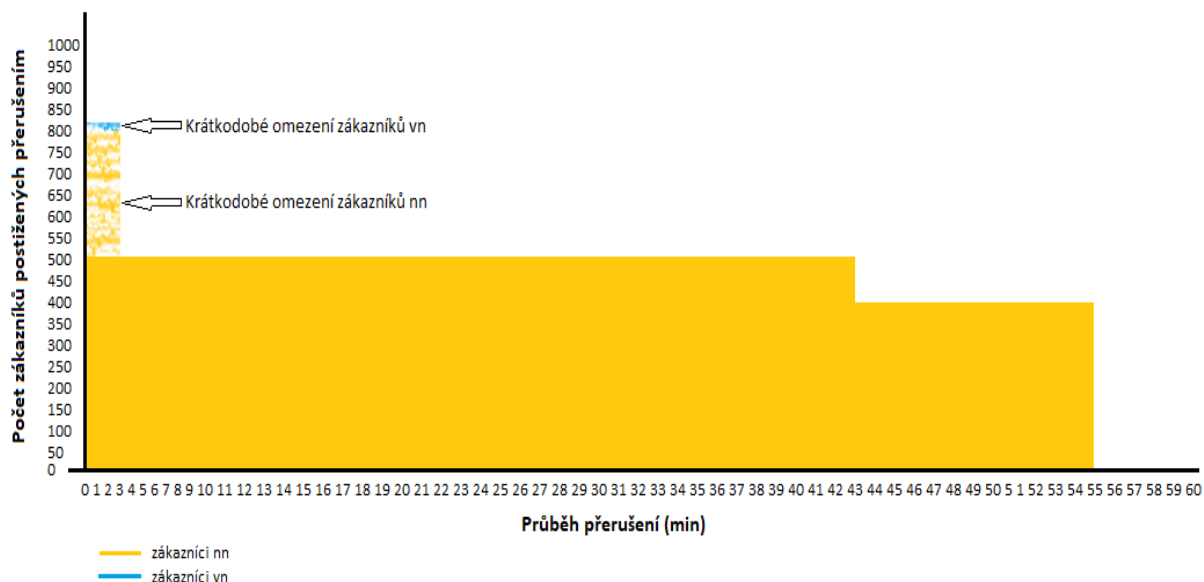
$$SAIFI_{vn} = \frac{\sum_j n_{jvn}}{N_{svn}} = \frac{n_{3vn}}{N_{svn}} = \frac{10}{10} = 1 \text{ (1/rok/zákazník)}$$

$$SAIDI_{vn} = \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{svn}} = \frac{t_{s3vn}}{N_{svn}} = \frac{(35 \cdot 10)}{10} = 35 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

$$MAIFI = \frac{\sum IM_i N_{mi}}{N_T} = \frac{(3 \cdot 500) + (3 \cdot 900) + (3 \cdot 10)}{1810} = 2,34 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

Případ třetí poruchy v totožném kabelovém vedení simuluje poruchu hned za první trafostanicí směrem od rozvodny. Osa x znázorňuje dobu přerušení v minutách a osa y počet omezených zákazníků. Na obrázku 5.5 vidíme časový sled událostí od vzniku poruchy v čase t_0 až konec v čase t_{85} . V tomto případě se omezení dotkne také vedlejšího vedení vn_333 a zákazníků na tomto vedení z důvodu potřeby napájení z druhé strany jelikož nebylo možné obnovit dodávku jiným způsobem. Tento případ poruchy je, co se týče doby omezení nejhorší, jelikož jak ukazuje systémový ukazatel SAIDI celková průměrná doba trvání přerušení distribuce 28,65 minut na zákazníka. To je bezmála téměř o sedm minut delší průměr trvání přerušení, než je tomu v případě poruchy druhé. Výhodou je pouze menší doba trvání omezení pro zákazníky na hladině vysokého napětí jak ukazuje ukazatel $SAIDI_{vn}$.

5.6 SAIDI a SAIFI pro dálkové ovládaní prvků při třetí poruše



Obrázek 5.6 Grafický průběh přerušení při třetí poruše-dálkové ovl.

- Systémové ukazatele

$$SAIFI_S = \frac{\sum_{h=(nn,vn)} \sum_j n_{jh}}{N_S} = \frac{n_{3nn}}{N_S} = \frac{(100 + 100 + 100 + 100 + 100)}{1810} = 0,276 \text{ (1/rok/zákazník)}$$

$$SAIDI_S = \frac{\sum_{h=(nn,vn)} \sum_j t_{sj}}{N_S} = \frac{t_{s3nn}}{N_S} = \frac{(43 \cdot 300) + (12 \cdot 400)}{1810} = 9,78 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

- Hladinové ukazatele

$$SAIFI_{nn} = \frac{\sum_j n_{jnn}}{N_{Snn}} = \frac{n_{3nn}}{N_{Snn}} = \frac{500}{1800} = 0,28 \text{ (1/rok/zákazník)}$$

$$SAIDI_{nn} = \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{Snn}} = \frac{t_{s3nn}}{N_{Snn}} = \frac{(43 \cdot 300) + (12 \cdot 400)}{1800} = 9,83 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

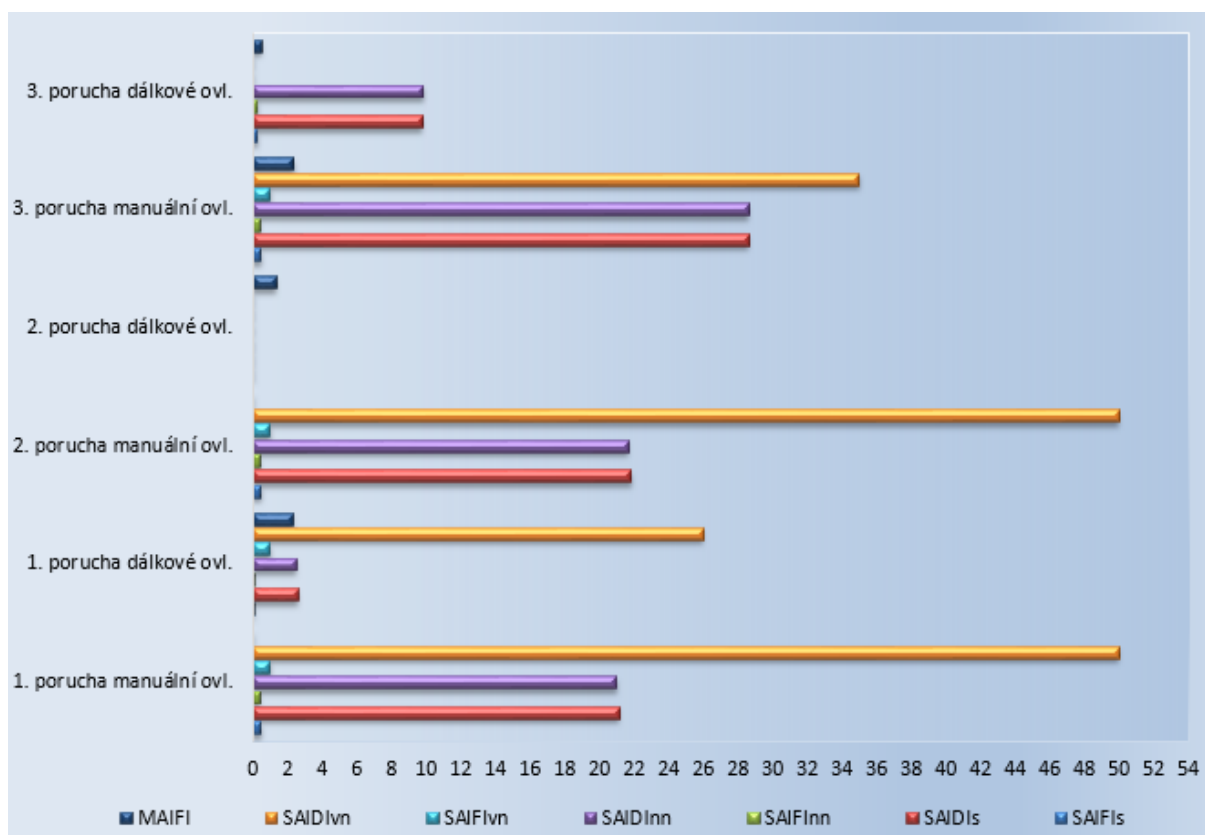
$$MAIFI = \frac{\sum IM_i N_{mi}}{N_T} = \frac{(3 \cdot 500) + (3 \cdot 10)}{1810} = 0,51 \text{ (min/rok/zákazník)}$$

Případ třetí poruchy s dálkově ovládanými prvky jak znázorňuje obrázek 5.6 kde osa x znázorňuje dobu přerušení v minutách a osa y počet omezených zákazníků není na první pohled zdaleka tak pozitivní jako předešlé dva případy, ale vezmeme-li v potaz že se první dálkově ovládaná trafostanice nachází až v polovině celého vedení tak i přesto je to přínosem. Výpadek v čase t_0 trvající do času t_{55} je sice znepokojivý, ale podařilo se obnovit dodávku pro vzdálenější půlku vedení již během třech minut. Systémový ukazatel SAIDI je v tomto případě s DO_DTS nejhorší avšak průměrná hodnota omezení distribuce 9,78 minut na zákazníka je menší než v jakémkoli případě právě bez osazení DO_DTS.

5.7 Vyhodnocení vlivu osazením DO_DTS

V páté kapitole byly simulována tři poruchová místa v kabelové síti vysokého napětí. Každá lokalizace a vymezení poruchového místa probíhala bez dálkově ovládaných prvků a poté s osazením dvou trafostanic s dálkově ovládanými prvky. Byly to trafostanice DO_DTS_9 a DO_DTS_12. Všechny časy a omezení odběratelé od výpadku vedení v čase t_0 přes manipulace dispečerem a montérem jsou znázorněny na časovém grafu pro každý jednotlivý případ. Zkoumaná síť napájí 1800 zákazníků na hladině nízkého napětí a 10 zákazníků na hladině napětí vysokého. Obrázek 5.7 ukazuje souhrn ukazatelů nepřetržitosti dodávky elektrické energie ve všech případech simulovaných poruchových stavů. Nejhorší případ, co se týče doby přerušení, je porucha číslo tři. Dlouhodobé omezení se projeвило

jak u zákazníků na hladině vysokého napětí tak na hladině nízkého napětí a taktéž na celkovém ukazateli SAIDIs.



Obrázek 5.7 SAIDI a SAIFI pro jednotlivé poruchy

Naopak nejlepších výsledků bylo dosaženo v případě poruchy číslo dvě s implementací dvou dálkově ovládaných trafostanic. Poruchové místo bylo právě na kabelové smyčce mezi těmito trafostanicemi a celková doba omezení od začátku vzniku poruchy přes lokalizaci až po vymezení netrvala déle jak tři minuty. Tento čas je zařazen do kategorie MAIFI, což jsou krátkodobá omezení. Poruchy jedna a dvě bez dálkového ovládání prvků jsou téměř shodné, co se týče doby omezení zákazníků a nelze si tedy nevšimnout výhody dálkových trafostanic. Globální implementací do kabelových sítí lze tímto způsobem „ušetřit“ spoustu času nedodávky elektrické energie a výrazně tak přispět k lepším a tedy menším hodnotám ukazatelů nepřetržitosti dodávky, což by měl být v neposlední řadě cíl každého distributora elektrické energie.

Závěr

Diplomová práce se zabývá problematikou nepřetržitosti dodávky elektrické energie tedy spolehlivostí a kvalitou dodávek elektřiny. Jelikož je tato problematika velice rozsáhlá, předmětem této práce je jedna z možností zkrácení doby a počtu omezení distribuce elektrické energie v případě poruchy na kabelovém vedení vysokého napětí.

První kapitola stručně popisuje prvky distribuční sítě na napěťových hladinách nízkého a vysokého napětí venkovního a kabelového rozvodu. Z této kapitoly vyplývá, že venkovní vedení používáme převážně tam, kde není hustá zástavba a kde je dostatek prostoru k umístění podpěrných bodů. Výhodami jsou menší náklady na výstavbu a v případě poruchy snadnější respektive viditelnější lokalizace poruchového místa a menší počet omezených odběratelů. Toto neplatí pro kabelový rozvod, který v případě rozvodu vysokého napětí napájí velké množství zákazníků na relativně malé oblasti, jelikož kabelové vedení se uplatňuje ve městech s hustou zástavbou a každý výpadek je doprovázen velkým počtem omezených zákazníků.

Druhá kapitola se zaměřuje na spolehlivost v elektroenergetice. Kapitola popisuje základní pojmy, definice, vlastnosti spolehlivosti dodávky elektrické energie, princip Vanové křivky, její jednotlivé úseky období poruchovosti a dále závislost mezi náklady a kvalitou dodávky. Popisuje jednotlivé ukazatele kvality nepřetržitosti dodávky elektrické energie a jejich výpočet.

Třetí část zkoumá poruchovost určité oblasti distribuční sítě během celého roku 2018. Porovnává poruchové stavy venkovního oproti kabelovému vedení vysokého napětí. Graficky rozděluje poruchy vzniklé za běžných povětrnostních podmínek do jednotlivých kategorií, rozděluje krátkodobá a dlouhodobá omezení. Cíl této kapitoly bylo poukázat na skutečnost průměrně vyššího počtu omezených zákazníků napájených z kabelového vedení na jednu poruchu.

Čtvrtá kapitola simuluje tři poruchové stavy na totožném kabelovém vedení vysokého napětí. Každá porucha probíhá nejprve v síti s manuálně ovládanými prvky kabelového vedení od vzniku přes lokalizaci až po vymezení a úplnou obnovu dodávky elektrické energie všech připojených odběratelů. Následně jsou tytéž události řešeny s osazením pouhých dvou trafostanic dálkově ovládanými prvky.

Závěrečná kapitola zkoumá dopad na ukazatele SAIDI a SAIFI jednotlivých řešených událostí, graficky znázorňuje časovou posloupnost poruch a počet omezených odběratelů v jednotlivých manipulačních krocích. Porovnává ukazatele nepřetržitosti dodávky elektrické energie pro každou simulovanou událost.

Cílem diplomové práce bylo poukázat na možnost zlepšení ukazatelů nepřetržitosti dodávky elektrické energie s přičiněním implementace dálkově ovládaných trafostanic v kabelovém vedení vysokého napětí při lokalizaci a odstranění poruchových stavů. Každá ze simulovaných poruch dopadla

s dálkově ovládanými prvky mnohonásobně lépe na jednotlivé ukazatele nepřetržitosti dodávky, než poruchy s manuálně ovládanými prvky. Implementovány byly pouze dvě dálkově ovládané trafostanice. V případě hustějšího osazení například každé uzlové trafostanice a co čtvrté smyčkové, by byl dopad na celkové omezení mnohem zřetelnější. Vzhledem k aktuální problematice každého distributora pro dosažení požadovaných hodnot SAIDI a SAIFI se jeví tato možnost jako velice vhodná. Získanou rezervu lze následně využít například na plánované odstávky.

Seznam použité literatury

- [1] Tůma J., Rusek S., Martínek Z., Chemišinec I., Goňo R.: Spolehlivost v elektroenergetice, ČVUT Praha, ISBN 80-239-6483-6
- [2] Marek Kotas. Poruchovost sítí nn a vn, Bakalářská práce, VŠB-TU Ostrava, 2018
- [3] Vyhláška č. 540/2005 Sb o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, ve znění vyhlášky č. 41/2010 Sb.
- [4] Interní data ČEZ
- [5] Pravidla provozování distribučních soustav. Příloha 2_Metodika určování nepřetržitosti distribuce elektřiny a spolehlivosti prvků distribučních sítí
- [6] *Draka.cz* [online]. [cit. 2018.04.08]. Dostupné z: <http://www.draka.cz/>
- [7] *OENERGETICE.CZ* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/eлектроenergetika/vodice-venkovnich-elektrickych-vedeni/>
- [8] *Odbornecasopisy.cz* [online]. [cit. 2018.04.08]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/svorky-pro-izolovane-venkovni-vedeni-nizkeho-napeti--15074>
- [9] *Elektrizační soustava* [online]. [cit. 2019.11.25]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/7916680-Elektrizacni-soustava.html>